



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

KAISA-LIISA TIKKA

**PUUPELLETTIEN KULJETUSLOGISTIIKKA JA
TOIMINTAMALLIN KEHITTÄMINEN**

Diplomityö

Prof. Jarkko Rantala hyväksytty tarkas-
tajaksi teknis-taloudellisen tiedekunnan
kokouksessa 7.11.2012.

TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Tietojohtamisen koulutusohjelma

TIKKA, KAISA-LIISA: Puupellettien kuljetuslogistiikka ja toimintamallin kehittäminen

Diplomityö, 68 sivua, 1 liite (1 sivu)

Marraskuu 2012

Pääaine: Logistiikka

Tarkastaja: professori Jarkko Rantala

Avainsanat: puupelletti, kuljetukset, logistiikka, pellettilämpökeskus

Tämän työn tarkoituksena oli selvittää Tampereelle rakennettavan pellettilämpökeskuksen puupellettien kuljetuslogistiset vaatimukset ja kehittää toimintamalli puupellettikuljetuksille. Apuna selvityksessä käytettiin kahta skenaariota, joista toinen oli 35 MW:n polttoaineteholla toimiva, vuoden 2012 lopussa valmistuva pellettilämpökeskus, ja toinen 100 MW:n polttoaineteholla toimiva, tulevaisuuden tarpeita vastaava lämpökeskus. Tutkimus koostui teoriaosuudesta ja tapaustutkimuksesta. Teoriaosuudessa tutkittiin toimitusketjun hallintaan ja bioenergiaan, erityisesti puupelletteihin liittyvää kirjallisuutta ja journaaleja, ja selvitettiin toimitusketjun hallinnan haasteita sekä pellettien varastointi- ja kuljetusmahdollisuuksia. Tapaustutkimusosuudessa tutkittiin skenaarioiden avulla, miten pellettilämpökeskuksen tehon vaihtelut vaikuttavat pellettien tarpeeseen ja pellettikuljetusten aikataulutukseen. Skenaarioille laskettiin pellettitarpeet ja kuljetuksiin määrät. Lisäksi selvitettiin lämpökeskuksen toiminnassa esiintyvät logistiset riskit ja annettiin toimenpide-ehdotuksia riskien pienentämiseksi. Lopuksi kehitettiin toimintamalli, jota voidaan käyttää hyödyksi pellettikuljetusten suunnittelussa ja toteutuksessa.

Tutkimuksessa huomattiin, että pellettikuljetukset voivat muodostaa pullonkaulan lämpökeskuksen toiminnalle, sillä silloja, joihin pelletit puretaan, on rajallinen määrä, ja pellettien purku niihin on hidasta. Yhden pellettikuljetuksen koko on rajallinen ja kuljetuksia tehdään vain päiväsaikaan. Täten on tärkeää, että silot ovat riittävän suuria, jotta ne eivät tyhjene kokonaan kuljetusten välissä.

Merkittävimmiksi pellettikuljetusten riskeiksi tutkimuksessa löydettiin tehon vaihtelut ja aikataulutukset. Lämpökeskuksen tehon suuruus määräytyy muun muassa sään mukaan, mitä on vaikea ennustaa. Tästä seuraa myös se, että kuljetusten aikataulutus on vaikeaa, kun pellettien tarve vaihtelee jatkuvasti. Tällöin ei voida suunnitella kiinteää aikataulua moneksi viikoksi eteenpäin, vaan aikataulutus on tehtävä jokaisen päivän pellettitarpeen mukaan. Pellettikuljetuksille kehitettiin kolmivaiheinen toimintamalli: suunnittele, toteuta sekä tarkista ja korjaa. Mallissa tarkoituksena on suunnitella kaikki lämpökeskuksen kuljetuksiin liittyvät toiminnot perusteellisesti, toteuttaa ne, tarkistaa niiden toimivuus ja tarvittaessa suorittaa korjaavia toimenpiteitä.

ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Information Knowledge Management

TIKKA, KAISA-LIISA: Wood pellet transportation logistics and development of an operations model

Master of Science Thesis, 68 pages, 1 appendix (1 page)

November 2012

Major: Logistics

Examiner: professor Jarkko Rantala

Keywords: wood pellet, transportation, logistics, pellet heating plant

This study's purpose was to examine the challenges in transportation logistics of wood pellets to a pellet heating plant, which is to be built in Tampere, and to develop an all-purpose operations model for wood pellet transportation. Two scenarios were used in order to help the research: a 35 MW powered pellet heating plant, which is to be completed at the end of the year 2012 and a 100 MW powered heating plant, which matches the future's need. The study consists of a theory section and a case study section. In the theory section supply chain management and its challenges, as well as bio energy, especially wood pellets and its storage and transportation possibilities, were studied with the help of literature and journals. In the case section the changes in power and its effects on the need of pellets and transportation schedules were studied with the help of scenarios. The need for pellets and the amount of transportations were calculated for the scenarios. The logistic risks in the operation of the heating plant were investigated and suggestions for reduction of the risks were given. An operations model, which can be used in planning and execution of pellet transportation, was also developed.

In this study it was noted that pellet transports can cause a bottleneck for the operation of the heating plant, because of the limited amount of silos in which the pellets are unloaded. The unloading is also slow. The size of one pellet transportation is limited and the deliveries are only made during the day. Thus, it is important that the silos are big enough, so that they won't empty completely between the transports.

The biggest risks in pellet transportation are scheduling and changes in power. The power of the heating plant is determined for example by the weather conditions, which are hard to predict. Thus, scheduling the transportations can be difficult, when the need for pellets changes constantly. Because of this, the schedules can't be firmly planned for weeks ahead but according to the day's need of pellets. The operations model was then designed as follows: plan, execute, review and fix. All the operations that are part of the heating plant's transports are to be thoroughly planned, then executed, reviewed for functionality and, if necessary, fixed.

ALKUSANAT

Diplomityön aiheen löytäminen kesti minulla yli 8 kuukautta. Viimein, huhtikuussa 2012 sain erittäin mielenkiintoisen, käytännönläheisen diplomityöaiheen Tampereen Energiantuotanto Oy:ltä liittyen rakenteilla olevaan pellettilämpökeskukseen. Aluksi aihe vaikutti haastavalta, sillä en ole opiskellut sähkö- tai lämmöntuotantoa, joten erityisesti aihealueen tekniset toiminnot ja termistö olivat minulle uutta. Huhtikuun aikana kävimme työni tarkastajan, professori Jarkko Rantalan sekä Tampereen Energiantuotanto Oy:n työni ohjaajien Timo Heinosen ja Laura Laaksosen kanssa tarkemmin läpi työn rakennetta ja etenemistä. Heidän avullaan sain työni kunnolla alkuun ja loppukevät ja suurin osa kesästä menivätkin aiheeseen tutustuessi ja teoriaosuutta kirjoittaessa. Työni case-osuuteen sain huomattavasti apua Vapo Oy:n pellettitehtaalla vierailusta, sillä sain vastaukset moniin mieltäni askarruttaneisiin kysymyksiin muun muassa pellettikuljetuksista ja varastoinnista. Työ eteni tämän jälkeen kohtalaisen vaivattomasti, kun tutkimuksen suunta ja tarkoitus oli hyvin selvillä. Haastavinta, mutta samalla mielenkiintoisinta oli oppia ymmärtämään miten pellettilämpökeskus käytännössä toimii ja mitä riskejä ja ongelmia toiminnassa voi olla. Suuret kiitokset siis Tampereen Energiantuotanto Oy:n Timo Heinoselle ja Laura Laaksoselle, kun vastasitte jatkuviin kysymyksiini ja etsitte lämpökeskuksen ongelmakohtia kanssani. Kiitokset myös professori Jarkko Rantalalle, joka antoi työni aiheelle suunnan ja ohjeita siihen, miten päästä yli vaikeimmista kohdista. Lämpimät kiitokset kavereilleni ja erityisesti Janille, äidille ja isälle, kun jaksoitte kuunnella jatkuvaa selitystä siitä, mikä milloinkin oli työssä hankalaa tai miten jokin osio oli vihdoinkin valmis. Voitte huokaista helpotuksesta, diplomityöni on nyt kokonaisuudessaan valmis!

Tampereella 12. marraskuuta 2012

Kaisa-Liisa Tikka

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ.....	i
ABSTRACT	ii
ALKUSANAT	iii
SISÄLLYS.....	iv
TERMIT JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT	vii
1. JOHDANTO	1
1.1. Uusiutuvan energian merkitys nyky-yhteiskunnassa	1
1.2. Työn aihe ja rakenne	2
1.3. Tutkimuksen tausta ja tarve	3
1.4. Tutkimuksen tavoitteet, tutkimusongelma ja rajaukset.....	3
1.5. Tutkimusmenetelmät	4
2. UUSIUTUVAN ENERGIAN TARVE SUOMESSA JA SEN KULJETUS JA VARASTOINTI.....	7
2.1. Puuenergia ja muut uusiutuvat energialähteet.....	7
2.2. Puupelletit ja niiden käyttö	7
2.2.1. Pelletinvalmistajat.....	10
2.3. Toimitusketju ja sen hallinta.....	11
2.3.1. Bioenergian toimitusketju ja haasteet.....	13
2.3.2. Kansainvälisen toimitusketjun hallinta	15
2.3.3. Toimitusketjun toimintavarmuus ja riskit.....	16
2.4. Kuljetus- ja varastointistrategiat.....	18

2.4.1.	Biomassan kuljetus	18
2.4.2.	Pelletin kuljetusstrategiat.....	19
2.4.3.	Biomassan varastointi ja sen vaatimukset.....	20
2.4.4.	Pelletin varastointistrategiat.....	21
2.5.	Pelletin toimitusketjussa esiintyvät haasteet ja riskit.....	22
3.	SKENAARIOT	26
3.1.	Pellettilämpökeskuksen toiminta.....	26
3.2.	Pellettien kuljetus ja purku lämpökeskukseen	28
3.3.	Pellettilämpökeskuksen yleiset haasteet ja riskit	32
3.4.	Case 1: nykyinen tarve 35 MW	34
3.5.	Case 2: tulevaisuuden tarve 100 MW	35
3.6.	Case-tulosten vertailu	37
3.7.	Kuljetus- ja varastointiratkaisut	39
3.7.1.	Case 1:n kuljetus- ja varastointiratkaisu	39
3.7.2.	Case 2:n kuljetus- ja varastointiratkaisu	40
3.7.3.	Kuljetustiheyden vaikutukset tehon suuruuteen ja sillojen minimikoon määrittäminen.....	42
3.8.	Kuljetuksiin vaikuttavat tekijät.....	46
3.9.	Yhteenveto skenaarioissa lasketuista arvoista	49
4.	PELLETTIKULJETUSTEN RISKIMATRIISI JA TOIMINTAMALLI	50
4.1.	Toimintavarmuuden takaaminen ja riskimatriisi	50
4.2.	Riskien ja seurausten vähentäminen	54
4.3.	Toimintamalli pellettikuljetuksille	56
5.	YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT.....	59

5.1. Johtopäätökset ja toimenpidesuositukset	59
5.2. Tutkimuksen jatkotoimenpiteet	60
LÄHTEET.....	63

TERMIT JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT

Bioenergia	Puhdasta ja ympäristöystävällistä, erilaisista biomassoista saatavaa uusiutuvaa energiaa. Bioenergiaa saadaan muun muassa puusta ja biokaasusta. (Bioenergia Suomessa 2010; Motiva 2012a.)
Case- /tapaustudkimus	Tutkimus, jossa selvitetään yksityiskohtaista tietoa korkeintaan muutamasta tapauksesta (Hirsjärvi et al. 2001, s. 123).
Huipunkäyttöaika	Se tuntimäärä, jona aikana vuoden tuotanto olisi tuotettu lämpökeskuksen nimellisteholla (suomiSanakirja.fi).
Huippukäyttöaika	Ajankohta, jolloin lämpökeskus toimii täydellä teholla. Ajankohta määrittyy muun muassa sääolosuhteiden ja tätä kautta lämmöntarpeen mukaan.
Puupelletti	Pieni, sylinterimäinen sahanpurusta puristettu rae (Alakangas 2000, s. 76).
Riski	Muuttuja, jota ei voida varmuudella ennustaa, ja jonka takia tuotanto voi keskeytyä tai hidastua (Jüttner 2005, s. 122).
Skenaario	Kuviteltu tapahtumien sarja, testitapaus (Merriam-Webster). Skenaarioilla voidaan selvittää, mitä voi tapahtua erilaisissa kuviteluissa tilanteissa.
Toimintavarmuus	Yrityksen kyky toimia sujuvasti erilaisissa tilanteissa, esimerkiksi poikkeusolosuhteissa. Toimintavarmuuteen vaikuttavat riskit ja yrityksen kyky tunnistaa ja hallita näitä riskejä.
Toimitusketjun hallinta	Keinoja, joilla tavarantoimittajat, valmistajat, varastot ja myymälät saadaan yhdistettyä niin, että tarvittava määrä tuotteita saadaan valmistettua ja toimitettua oikeisiin paikkoihin oikeaan aikaan (Simchi-Levi et al. 2004, s. 2).
Uusiutuva energia	Uusiutuvaa energiaa ovat tuuli-, aurinko-, vesi- ja bioenergia, aalloista ja vuoroveden liikkeistä saatava energia, maalämpö sekä muut kasvi- ja eläinperäiset polttoaineet (Motiva 2012a).

1. JOHDANTO

1.1. Uusiutuvan energian merkitys nyky-yhteiskunnassa

Jatkuvasti kasvava energian tarve on osoittautunut ongelmalliseksi, sillä fossiilisten polttoaineiden määrä on vähenemässä. Oman haasteensa energian tarpeelle aiheuttavat myös muiden luonnonvarojen väheneminen, korkeat polttoainehinnat sekä tavoitteet vähentää kasvihuonekaasupäästöjä maailmanlaajuisesti. (Pereira 2011, s. 25.) Euroopan Unioni (EU) onkin asettanut tavoitteeksi lisätä uusiutuvan energian käyttöä EU-maissa 20 prosentilla vuoteen 2020 mennessä. Lisäksi tarkoituksena on vähentää kasvihuonekaasujen päästöjä sekä parantaa energiatehokkuutta 20 prosentilla vuoteen 1990 verrattuna. (Euroopan komissio 2011.)

Uusiutuvan energian käytön lisääminen on helpointa sähköntuotannossa ja lämmitysjärjestelmissä, sillä uusiutuvaa energiaa saadaan muun muassa puusta, auringosta ja tuulesta (Euroopan komissio 2011; Työ- ja elinkeinoministeriö 2012). Haasteellisen käyttöönotosta tekee se, että on kehitettävä keinot, joilla käyttöönottoa voidaan nopeuttaa. Jos uusiutuvaa energiaa ei hyödynnetä riittävän nopealla aikavälillä, eivät muun muassa EU:n asettamat tavoitteet toteudu vuoteen 2020 mennessä. (McCormick & Kåberger 2007, s. 443.) Samalla fossiilisten polttoaineiden käyttö vaikeutuu entisestään, kun niiden määrä vähenee. Tämä voi olla suurikin uhka polttoaineen tuotannolle ja energiansaannille. Energiategollisuuden (2012) mukaan Suomessa puun ja muiden kotimaisten uusiutuvien energialähteiden käyttö kaukolämmössä oli vuonna 2011 yli 20 prosenttia, mikä on jo hyvä alku uusiutuvan energiankäytön lisäämiselle.

Vaikka uusiutuva energia on vielä kalliimpaa kuin perinteinen energia, on tämä muuttumassa, sillä öljyn hinta nousee koko ajan (ks. esim. Taloussanomien 2011). Uusiutuvan energian hinta tulee laskemaan jonkin verran, kun sen käyttöä kannustetaan ja kun samalla sen tarve kasvaa: muun muassa aurinkoenergiateknologian hinnan on arvioitu laskevan puoleen nykyisestä vuoteen 2020 mennessä (Euroopan komissio 2011). Toisaalta on hyvä muistaa, että uusiutuvan energian hinta ei voi laskea huomattavasti, sillä raaka-aineiden valmistusta ei pystytä rajattomasti lisäämään. Esimerkiksi puuhakkeen ja muiden sivutuotteiden saatavuus on rajallista sen takia, että ne ovat jonkin muun prosessin *ohessa* syntyvää jätettä (Forsberg 2000, s. 21). Sen sijaan uusiutuvan energian hinta voi halventua muihin energiamuotoihin verrattuna muun muassa fossiilisten polttoainevarojen vähentyessä.

Uusiutuvien energialähteiden käyttöönotto vaatii uusien teknologioiden suunnittelun lisäksi myös sujuvan toimitusketjun (Pereira 2011, ss. 25-26). Toimitusketjusta voi

muotoutua hyvinkin monimutkainen kokonaisuus, sillä ketjuun kuuluvat kaikki yritykset ja asiakkaat, jotka osallistuvat tuotteen valmistusprosessiin ja valmiin tuotteen tilaamiseen. Toimitusketjun on oltava luotettava ja sen hallintaan on oltava riittävästi resursseja, jotta asiakkaat ovat tyytyväisiä saamaansa palveluun. Kun koko toimitusketjun toimintavarmuus on mahdollisimman korkea, on tuotteiden tai palveluiden, kuten energian, saaminen luotettavaa ja jatkuvaa.

Toimitusketjun toimintavarmuuden takaaminen onkin haastavaa, sillä on huomioitava koko toimitusketjussa esiintyvät riskit ja keinot, joilla niihin pystytään vaikuttamaan niin, että riskit pienenevät tai poistuvat kokonaan. Riskit eivät myöskään välttämättä esiinny suoraan toimitusketjussa, vaan aiheuttajana voi olla esimerkiksi jokin epidemia, kuten Kiinassa ja Kanadassa ilmennyt SARS, terrori-iskut ympäri maailmaa tai erinäiset protestit liittyen esimerkiksi polttoaineisiin. Tällaiset riskit, jotka eivät varsinaisesti ole riippuvaisia mistään toimitusketjusta, saattavat silti aiheuttaa kuukausien viivästyksiä toimituksiin. (Jüttner 2005, s. 120.) Samoin luonnonilmiöt, kuten tulivuorenpurkaukset voivat vaikeuttaa kansainvälisen logistiikan toimintaa.

1.2. Työn aihe ja rakenne

Tämä työ on tehty Tampereen Energiantuotanto Oy:lle, ja työssä tutkitaan puupellettien kuljetuslogistiikkaa. Puuhakkeesta ja muista puuteollisuuden sivutuotteista voidaan tehdä muun muassa puupellettejä, joita käytetään lämmityksessä. Pellettejä hyödynnetäänkin maailmanlaajuisesti merkittäviä määriä energiantuotannossa, sillä ne ovat helposti varastoitavissa ja käsiteltävissä (Sikkema et al. 2011, s. 251). Pelletit soveltuvat hyvin pitkän matkan kuljetuksiin, joten kansainvälinen kaupankäynti mahdollistaa toimitukset myös maihin, joissa ei pelletintuotantoa ole tarpeeseen nähden riittävästi. Tutkimuksia pelleteistä ja niiden käyttötarkoituksista sekä varastointi- ja kuljetusmahdollisuuksista on tehty jonkin verran (ks. esim. Sikkema et al. 2011, Pelletsatlas 2009b, Pelletsatlas 2009c), mutta ne keskittyvät enimmäkseen yleiskatsaukseen pellettien nykytilanteesta ja arvioihin tulevaisuudesta. Lisäksi erilaisia malleja biopolttoaineen toimitusketjun hallinnalle ja optimoinnille on kehitetty viime vuosina muutamia (ks. esim. Gunnarsson et al. 2003). Tässä työssä on tarkoituksena selvittää miten puupellettien kuljetus- ja varastointilogistiikka on toteutettava, jotta pellettien tarpeeseen pystytään jatkuvasti vastaamaan pellettilämpökeskuksessa.

Työ on jaettu kahteen osaan, teoria- ja tapaustutkimus-lukuihin. Työn alussa käsitellään tarkemmin tutkimuksen tausta ja tarve, jonka jälkeen listataan tutkimuksen tavoitteet ja rajaukset sekä tutkimuskysymykset. Työssä käytetään tutkimusmenetelminä käsitteanalyttistä kirjallisuuskatsausta sekä tapaustutkimusta, ja ne kuvaillaan tarkemmin luvussa 1.5. Luvussa 2 keskitytään tutkimuksen teoriaosuuteen kertomalla uusiutuvista energialähteistä, erityisesti puupelleteistä, joihin tässä työssä keskitytään, erilaisista kuljetus- ja varastointistrategioista bioenergiaan ja puupelleteihin liittyen sekä toimitusketju-käsitteestä ja toimitusketjun hallinnasta ja mahdollisista haasteista ja riskeistä hallin-

taan liittyen. Teoriaosuuden tarkoituksena on löytää itse skenaarioita varten taustatietoa, jota voidaan käyttää apuna myöhemmin tutkimuksessa. Luvussa 3 käsitellään kahden eri skenaarion avulla puupellettien kuljetuksia Tampereen Sarankulmaan, jonne valmistuu puupellettilämpökeskus vuoden 2012 loppuun mennessä. Luvussa kehitetään molemmille skenaarioille kuljetus- ja varastointiehdotukset. Luvussa 3 tutkitaan myös kuljetuksiin vaikuttavia tekijöitä ja niiden riippuvuuksia toisistaan. Luvussa 4 suunnitellaan riskimatriisi, jossa määritellään mitä riskejä lämpökeskuksen toiminnassa on logistisesta näkökulmasta katsottuna. Samassa luvussa kehitetään myös toimintamalli pellettilämpökeskuksen logistiselle toiminnalle. Luvussa 5 kootaan tulokset yhteen ja pohditaan tutkimuksen onnistumista ja annetaan ehdotuksia jatkotutkimuksille.

1.3. Tutkimuksen tausta ja tarve

Tutkimuksen aihe on osa RESCA-hanketta (Renewable Energy Solutions in City Areas), jonka tarkoituksena on lisätä uusiutuvan energian tuotantoa ja käyttöä jakamalla kokemuksia eri kaupunkien välillä erilaisten pilottihankkeiden avulla. RESCA:n hankkeessa ovat mukana muun muassa Oulun, Turun, Vantaan ja Tampereen kaupungit, Teknologioiden ja innovaatioiden kehittämiskeskus Tekes, Ekotehokas Tampere 2020 (ECO₂) sekä Helsingin seudun ympäristöpalvelut (HSY), ja hanke on Hermian koordinoima. (RESCA 2011.)

Hankkeeseen liittyvät pilottihankkeet keskittyvät muun muassa aurinkoteknologioihin, tuulivoimaan, bioenergiaan ja ilmastovaikutusten huomioimiseen kaupunkikaavoituksessa. Tavoitteena on kehittää noin 15 pilottia eri kohdekaupunkeihin, ja yhteistyöhön otetaan mukaan suomalaisia alan yrityksiä. RESCA-hanke edistää ”kaupunkien ilmastotavoitteiden saavuttamista ja elinkeinoelämän kehittämistä ja liiketoimintaa yritysnaökulmasta”. Hanke aloitettiin vuoden 2011 lopussa ja sen on suunniteltu jatkuvan vuoden 2014 alkuun. (RESCA 2011.)

Tämä tutkimus liittyy bioenergiaan ja on tehty Tampereen Energiantuotanto Oy:lle. Tarkoituksena on selvittää Tampereen Sarankulmaan rakennettavan 35 MW:n maksimiteholla toimivan pellettilämpökeskuksen pellettien kuljetuslogistiikkaa. Aihetta käsitellään kahden skenaarion avulla, joista toinen on nykyiseen pellettitarpeeseen mitoitettun kuljetuslogistiikan ja toinen tulevaisuuden suuremman pellettitarpeen kuljetuslogistiikan selvittäminen. Pellettilämpökeskuksen on tarkoitus valmistua vuoden 2012 lopussa, joten tutkimukselle on ajankohtainen tarve.

1.4. Tutkimuksen tavoitteet, tutkimusongelma ja rajaukset

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää mitä pellettien kuljetuslogistiikalta ja varastoinnilta vaaditaan, jotta lämpökeskus pystyy toimimaan aina tarvittaessa. Tutkimus tehdään Tampereen Energiantuotanto Oy:n suunnitteleman pellettilämpölaitoksen kapasiteetin mukaan, mutta samalla tutkitaan tulevaisuuden tarvetta. Tutkimuksessa käytetään apuna

kahta skenaariota: nyt valmistuvan 35 MW:n polttoainetehon tarvetta tutkien, sekä tulevaisuuden potentiaalisen lämpökeskuksen 100 MW:n polttoainetehoa tarkastellen. Työssä tehdään kuljetusehdotukset molemmille skenaarioille ja selvitetään lämpökeskuksen logistisia riskejä sekä tutkitaan kuljetuksiin vaikuttavia tekijöitä. Tavoitteena on kehittää toimintamalli, jonka on tarkoitus olla apuna uusien pellettilämpökeskusten kehittämisessä ja niiden pellettikuljetusten suunnittelussa. Tutkimuksessa keskitytään kotimaankuljetuksiin, mutta myös ulkomaankuljetukset otetaan lyhyesti huomioon, vaikka tämän tutkimuksen pelletit pyritään kuljettamaan kotimaisilta pellettitehtailta. Kuljetuksissa keskitytään erityisesti autokuljetuksiin, sillä ne ovat tämän tutkimuksen kannalta olennaisin kuljetusmuoto lyhyiden etäisyyksien takia.

Päätutkimuskysymys on:

Millainen on pellettien kuljetuksen ja varastoinnin oltava, jotta pellettitarve tulee täytettyä lämpökeskuksessa?

Tämän päätutkimuskysymyksen rinnalle on muotoiltu tarkentavia kysymyksiä, joiden tarkoituksena on selittää tarkemmin päätutkimuskysymyksen sisältöä:

1. *Miten järjestetään kuljetukset, jotta siilot (tai varastot) olisivat aina riittävän täynnä?*
2. *Mitä riskejä syntyy, jos pellettejä ei olekaan tarjolla tai kuljetuksissa on ongelmia?*

Kustannuksiin keskitytään vain, jos jokin kuljetus- tai varastointimuoto todetaan huomattavasti kalliimmaksi kuin toinen tai jos kustannukset tulevat muilla tavoin lämpökeskuksen toiminnan esteeksi. Tämän koetaan olevan riittävän tarkka lähestymistapa, sillä on vaikeaa saada tarkkoja hintatietoja vielä valmistumisvaiheessa olevalle kohteelle. Työn fokus on kuljetuslogistiikassa, joten itse lämpökeskuksen ja kuljetuskaluston tekniset kuvaukset pidetään lyhyinä. Valitut skenaariot pyritään kuvaamaan mahdollisimman tarkasti, samoin kuin pellettilämpökeskuksen ja kuljetusten käytännön toiminta. Tutkimuksen luonteen ja tiukan aikataulun vuoksi kehitettävän toimintamallin toiminta käytännössä jätetään jatkotutkimuksien selvitettäväksi.

1.5. Tutkimusmenetelmät

Tutkimuksella on aina jokin tarkoitus, jonka perusteella tutkimusstrategia ja -menetelmä valitaan (Hirsjärvi et al. 2001, s. 127). Samalla tapa, jolla lähteitä haetaan työhön ja miten niitä käydään läpi, vaikuttaa tutkimusmenetelmän valintaan. Erilaisille lähestymistavoille on kehitetty omat metodinsa, joiden avulla työ on helpompi ja selkeämpi jäsenellä ja toteuttaa. (Seppänen et al. 2008, s. 11.)

Tutkimusmenetelmiä on lukuisia, ja Neilimo & Näsi (1980, s. 31) ovat jakaneet taloustieteessä käytetyt tutkimusmenetelmät neljään eri osaan: käsiteanalyttiseen, nomoteet-

tiseen, päätöksentekometodologiseen sekä toiminta-analyyttiseen tutkimusotteeseen. Käsiteanalyttisen tutkimuksen perustana on uusien käsitteiden ja kehyksien muodostaminen. Sitä käytetään erityisesti teoreettisten käsitteiden ja oletusten luomisessa. (Neilimo & Näsi 1980, ss. 32-33.)

Sen sijaan nomoteettisen tutkimusotteen tarkoituksena on pyrkimys selittää jotakin jo olemassa olevaa ilmiötä esimerkiksi joidenkin tiettyjen esimerkkitapausten avulla (Hannula et al. 2003, s. 8). Tavoitteena on osoittaa tapauksissa riippuvuuksia ja yhteyksiä niiden ominaisuuksissa (Olkkonen 1994, s. 67). Toiminta-analyttinen tutkimusote on nomoteettisen tutkimusotteen vastakohta: sillä yritetään ymmärtää ja koota käsitteitä kokonaisuuksiksi (Neilimo & Näsi 1980, s. 35). Tarkoituksena on ymmärtää valittua ongelmaa, joten tutkijan on oltava jatkuvasti erittäin tiiviisti tekemisissä ongelman kanssa ja tehtävä omia tulkintojaan siitä (Olkkonen 1994, s. 73). Päätöksentekometodologisen tutkimusotteen tehtävä on Neilimo & Näsin (1980, s. 33) mukaan löytää ratkaisumalli tutkimukseen valitulle ongelmalle. Tuloksena on yleensä jokin matemaattinen malli, jota voidaan hyödyntää päätöksenteossa tai päätöksen vaikutuksissa (Olkkonen 1994, s. 70). Tällaisessa tutkimusotteessa tulee osata itse soveltaa teoriaa käytäntöön (Neilimo & Näsi 1980, s. 34).

Lisäksi tutkimus voi olla joko kvantitatiivinen tai kvalitatiivinen, eli määrällinen tai laadullinen. Kvantitatiivinen tutkimus on järjestelmällistä tiedonkeruuta, apuna käytetään jo olemassa olevia tutkimustuloksia ja teorioita. Kvantitatiivisessa tutkimuksessa mitataan määrällisiä asioita ja tulokset kootaan tilastolliseen muotoon. Tutkimustyyppeinä voivat olla esimerkiksi kokeelliset tutkimukset. Kvalitatiivisessa tutkimuksessa sen sijaan on tärkeää syvällinen lähestymistapa, ja muun muassa haastattelut ovat tyypillinen tutkimusmetodi. Tuloksena yritetään löytää jotakin uutta, odottamatonta. (Hirsjärvi et al. 2001, s. 123, 129, 155, 178.) Olkkosen (1994, s. 65) mukaan nomoteettisessa tutkimusotteessa käytetään usein tilastollisia, kvantitatiivisia menetelmiä, kun taas esimerkiksi toiminta-analyttisessä tutkimusotteessa kvalitatiiviset menetelmät ovat tärkeämpiä.

Työssä käytetyt tutkimusmenetelmät

Kuten Olkkonen (1994, s. 80) mainitsee, voi samassa tutkimuksessa olla eri menetelmien piirteitä. Kuten liiketaloustieteellisessä tutkimuksessa yleensäkin, on myös tässä tutkimuksessa alussa käsiteanalyttinen osa, jossa luodaan teoriakehys myöhemmin tehtävälle empiiriselle osiolla (Olkkonen 1994, s. 80). Teoriaosuuden tarkoituksena on karottaa laajasti aihealueen käsitteet ja perehdyttää niin lukija kuin tutkimuksen tekijäkin aihepiiriin.

Käsiteanalyttinen osio tässä tutkimuksessa on siis kirjallisuuskatsaus, jossa keskitytään aiheen kannalta olennaiseen kirjallisuuteen, kuten tieteellisiin lehtiartikkeleihin ja kirjoihin. Kirjallisuuskatsauksen tavoitteena on tuoda esille aikaisemmat tutkimukset ai-

heesta ja vahvistaa tämän tutkimuksen tarvetta. (Hirsjärvi et al. 2001, ss. 108-110.) Tässä työssä kirjallisuuskatsauksessa tutkitaan bioenergian toimitusketjua, puupellettejä ja toimitusketjun hallinnan riskejä. Kattavan teoriaosion avulla on helpompi lähteä kehittämään tuloksia ja päätelmiä työn kahteen skenaarioon. Työn käytännönläheisyyden takia aikaisempia samanlaisia tutkimuksia ei ole saatavilla, mutta teoriaosuudessa pyritään kuitenkin tutkimaan aihealueesta tarjolla olevaa tietoa, jota voidaan myöhemmin tutkimuksessa soveltaa. Samalla on pidettävä mielessä oma tutkimusongelma, jotta kirjallisuuskatsauksesta ei tule liian monialainen ja laaja (Hirsjärvi et al. 2001, s. 110). On kuitenkin pyrittävä käsittelemään aihealuetta kattavasti.

Toiminta-analyttiselle tutkimusotteelle tyypilliseen tapaan tähän tutkimukseen on valittu tapauksia, caseja, jotka toimivat tyypillisenä otantana koko aihealueelle (Olkkonen 1994, s. 73). Tapaustudkimus on Hirsjärvi et al.:n (2001, s. 123) mukaan yksityiskohdista tietoa korkeintaan muutamasta tapauksesta. Näitä tapauksia tutkitaan erityisesti niiden sisältämien prosessien takia. Tässä tutkimuksessa prosessi tarkoittaa pellettilämpökeskuksen tehoa, sen vaihtelua eri vuosina ja vuodenaikoina ja sen vaikutusta pellettitarpeeseen. Tapauksiksi on valittu kaksi toisistaan eroavaa casea, joiden koetaan kuvastavan hyvin tutkimuksen pellettilämpökeskuksen tarpeita: ensimmäisessä casessa tutkitaan yleisintä talviajan tehon tarvetta, kun taas toisessa casessa keskitytään tulevaisuuden tarpeen saavuttamiseen. Tapauksia käsitellään syvällisesti, jotta niistä saadaan kokonaisvaltainen käsitys.

Tässä työssä tapaustudkimukseen kerättiin tietoa haastattelemalla vapaamuotoisesti Tampereen Energiantuotanto Oy:n, Vapon pellettitehtaan ja kuljetusyritys Korsu Oy:n yhteyshenkilöitä. Lisäksi kuvamateriaalia ja tarkempaa tietoa pellettikuljetuksista ja -tehtaan toiminnasta saatiin vierailemalla Vapon pellettitehtaalla Vilppulassa. Näiden keskustelujen ja vierailujen avulla tapaustudkimuksesta pystyttiin tekemään mahdollisimman realistinen. Näin tutkimuksen tuloksista on myös hyötyä pellettikuljetusten konkreettisessa suunnittelussa.

Toiminta-analyttisesti tutkittaessa on huomioitava, että tuloksia ei välttämättä voida kovin laajalti yleistää, sillä tapaukset kattavat hyvin pienen osa-alueen, eikä tutkimuksen tarkoituksena ole selvittää miten tulokset toimivat käytännössä. Yleistettävyyttä voidaan toki tutkia esimerkiksi analysoimalla yhteneväisiä piirteitä tapausten ja koko aihepiirin välillä. (Olkkonen 1994, s. 74.) Tässä tutkimuksessa pyritään kuitenkin kehittämään yleistävämpi toimintamalli, vaikkakaan sen toimivuutta ei tämän työn puitteissa tulla selvittämään.

2. UUSIUTUVAN ENERGIAN TARVE SUOMESSA JA SEN KULJETUS JA VARASTOINTI

2.1. Puuenergia ja muut uusiutuvat energialähteet

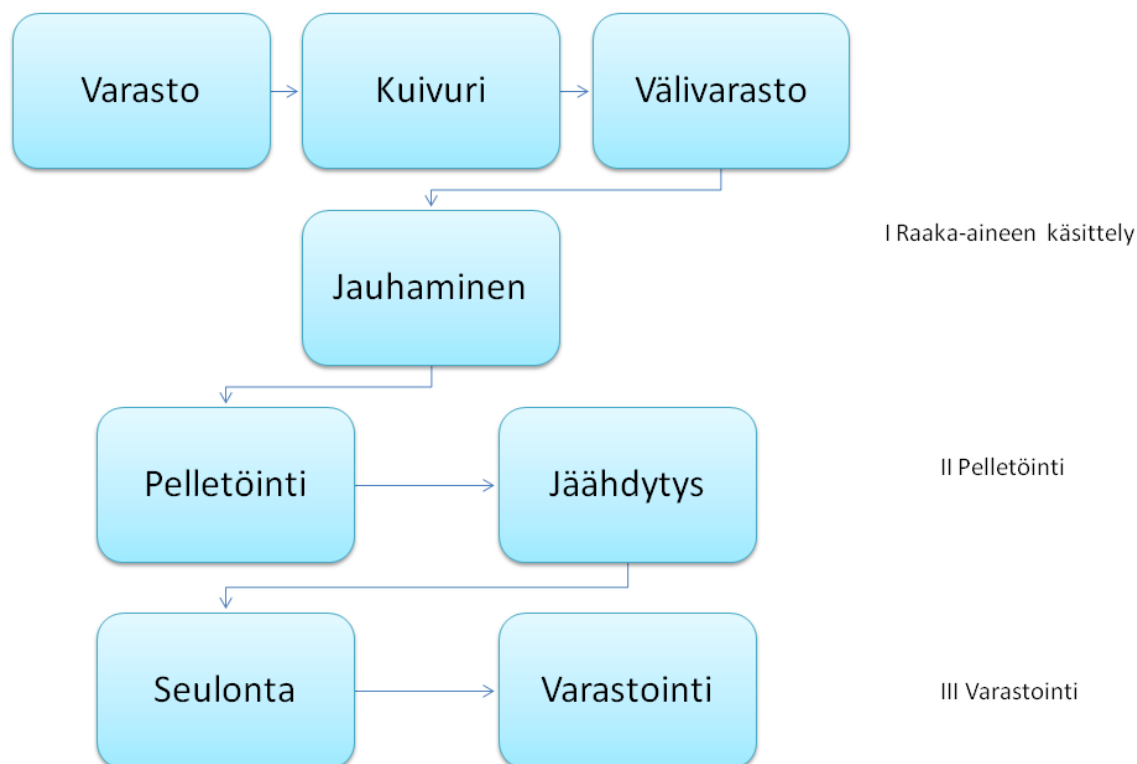
Suomi on uusiutuvien energialähteiden ja bioenergian hyödyntämisen johtavia maita, sillä jopa neljännes Suomen energiankulutuksesta saadaan näistä lähteistä (Työ- ja elinkeinoministeriö 2012). Ominaista uusiutuville energialähteille on, että niiden varannot eivät vähene pitkälläkään aikavälillä, kunhan niitä hyödynnetään kestäväällä tavalla. Uusiutuvaa energiaa ovat tuuli-, aurinko-, vesi- ja bioenergia, aalloista ja vuoroveden liikkeistä saatava energia, maalämpö sekä muut kasvi- ja eläinperäiset polttoaineet. Suomessa ei kuitenkaan aalto- eikä vuorovesienergiaa pystytä käyttämään puutteellisten luonnonolosuhteiden takia. Bioenergiaksi luokitellaan puulähtöiset polttoaineet, biokaasu, peltobiomassat ja kierrätyspolttoaineiden biohajoavat osat. (Motiva 2012a; Tilastokeskus.) Suomessa erityisesti puu, vesi- ja tuulivoima sekä aurinkoenergia ovat tärkeimpiä uusiutuvia energialähteitä niiden hyvän saatavuuden takia (Työ- ja elinkeinoministeriö 2012).

Suurin osa Suomen uusiutuvasta energiasta tuotetaan Motivan (2012b) mukaan nimenomaan puuperäisestä biomassasta, muun muassa puunjalostusteollisuuden sivutuotteista, kuten kuoresta ja sahanpurusta. Täten puuenergian hyödyntämismahdollisuudet riippuvatkin puunjalostuksen määrästä (Motiva 2012b). Puupolttoaineet voivat olla kiinteitä, kuten pellettejä, tai nestemäisiä, kuten biodieseliä ja koivuöljyä. Puu on uusiutuvana energialähteenä tehokas myös siksi, että se ei aiheuta ylimääräisiä hiilidioksidipäästöjä ilmakehään, vaan se sitoo hiiltä kasvaessaan ja palaessaan vapauttaa tätä hiiltä hiilidioksidina. (Metsävastaa.net 2012.) Uusiutuvaa energiaa käytetään käyttöenergiana, eli lämpönä ja sähköinä sekä jonkin verran myös ajoneuvojen polttoaineina (Bioenergiatieto.fi 2009).

2.2. Puupelletit ja niiden käyttö

Puupelletit ovat sylinteri- tai neliömäisiä, puristamalla valmistettuja rakeita ja ne valmistetaan yleensä metsähakkeesta tai teollisuuden puujätteestä (Alakangas 2000, s. 76). Aluksi raaka-aine on tarvittaessa kuivattava, jonka jälkeen se jauhetaan ja puristetaan pelleteiksi kuvan 1 vaiheiden mukaisesti. Puristuksen jälkeen pelletit jäädytetään, jotta ne saavuttavat tarvittavan lujuuden. Tämän jälkeen niistä seulotaan ylimääräinen puru ja hienoaines pois, jotta pelletin laatu olisi riittävän tasaista polttoaineeksi. (Pellettienergia

2009a.) Pellettien kosteuspitoisuus on erittäin alhainen ja niiden lämpöteho on korkea. Lisäksi pellettien lämmityskustannukset ja hiilidioksidipäästöt ovat alhaisemmat kuin esimerkiksi öljylämmityksellä, joten ne ovat erittäin potentiaalinen uusiutuvan energian lähde. (Selkimäki et al. 2010a, ss. 3068-3069.)



Kuva 1: Pelletin valmistuksen vaiheet (mukaillen Vapo Oy:ta lähteessä Pellettienergia 2009a).

Pelletin valmistus alkoi Suomessa vuonna 1998 ja aluksi tuotanto keskittyi pelkkään vientiin. Ulkomaille vienti on edelleen kotimaan käyttöä suurempaa, mutta kotimaan tarve kasvaa joka vuosi. (Pelletsatlas 2009a, ss. 4-5.) Suomessa pellettien tuotantomäärät olivat kasvussa 2000-luvun alkupuolella: esimerkiksi vuonna 2007 pellettiä tuotettiin 329 000 tonnia ja vuonna 2008 määrä oli jo 400 000 tonnia. Tuotannon ennustettiin kasvavan huomattavasti vuoteen 2010 mennessä. (Selkimäki & Röser, s. 2.) Vuonna 2010 tuotanto oli kuitenkin enää 290 000 tonnia, ja vuonna 2011 Vapo ilmoitti vähentävänsä laskennallista pelletintuotantokapasiteettiaan 400 000 tonnilla sulkemalla kolme pellettitehdastaan Suomessa (Ylitalo 2011; Vapo 2011a). Vapon (2011a) mukaan pelletin markkinahinnan taso oli laskenut Eurooppaan suuntautuneen viennin lisääntymisen takia. Tästä huolimatta Suomessa pelletin kulutus on edelleen kasvussa: vuonna 2007 kulutus oli noin 120 000 tonnia, kun vuonna 2010 kulutus oli jo melkein 170 000 tonnia (Motiva 2011). Lisäksi koko Euroopan pellettituotantomäärä oli vuonna 2008 noin 7 miljoonaa tonnia, ja suurin osa tästä tuotettiin Ruotsissa, Saksassa ja Itävallassa (Pelletsatlas 2009b, s. 6).

Pelletin käyttäjät voidaan jakaa kolmeen eri kategoriaan polttouunien koon perusteella (Pelletsatlas 2009c, s. 24; Selkimäki et al. 2010a, s. 3070):

- pienet pellettiyksiköt (alle 40 kW lämpöteho)
- keskikokoiset pellettiyksiköt (50-300 kW)
- suuret pellettiyksiköt (yli 1 MW lämpöteho)

Pienet pellettiyksiköt ovat kotitalouksia, esimerkiksi kesähuiloita, joissa pellettiä käytetään pääasiallisena lämmitysmetodina. Koulurakennukset, virastot ja muut suuret rakennukset, joissa pellettiä käytetään lämmitykseen, kuuluvat keskikokoisiin pellettiyksiköihin. Suuria pellettiyksiköitä ovat suuremman alueen, esimerkiksi kunnan, pellettilämpökeskukset. (Selkimäki et al. 2010a, s. 3071.)

Pellettien käyttö vähentää lämpökeskuksen huoltotarvetta verrattuna esimerkiksi metsähakkeella toimivaan lämpölaitokseen, sillä pelletti on polttoaineena tasalaatuista ja kivihiiltä. Suuretkin pellettiyksiköt, kuten lämpökeskukset, voivat siis huoletta käyttää pellettejä. Usein pellettiä käytetään myös lisäpolttoaineena lämpö- ja voimalaitoksissa. Näin pystytään vähentämään muun muassa öljyn käyttöä polttoaineena ja lisäämään uusiutuvan, edullisemman energian hyödyntämistä. Verrattuna esimerkiksi hakelämmitykseen pellettilämmityslaitteisto on huomattavasti pienempi ja pellettejä on helpompi varastoida pieneenkin tilaan. Lämmöntuottoa on myös helppo säätää kulutukseen sopivaksi. Tämä on eduksi erityisesti suuressa energiankulutuksessa, sillä säästöt ovat merkittäviä ja investointi muuttuu lyhyellä aikavälillä kannattavaksi. (Pellettienergia 2009b.)

Pellettilämpökeskuksen pellettimyllyjä huolletaan tasaisin väliajoin, sillä myllyssä olevat vasarat, joilla pelletit hienonnetaan puupölyksi ennen polttamista, kuluvat käytössä ja niitä on siksi huollettava. Samoin reikälevy, joka toimii suodattimena pölylle, kuluu ja voi tukkeutua ja vaatia huoltoa. Lisäksi tuhka on ajoittain tyhjennettävä tulipesästä. Tuhkan tyhjennys tapahtuu imuautolla. Tyhjennys on suhteellisen nopeaa ja kestää yleensä yhden päivän. Pellettilämpökeskuksen huollot pyritään järjestämään sellaisena aikana, jolloin lämpökeskus ei ole ollenkaan käytössä. Näin pyritään vähentämään käyttökatoa aiheutuvaa haittaa, mutta yllättäviäkin käyttökatoja voi tulla, jos esimerkiksi jokin lämpökeskuksen osa hajoaa. (Liite 1.)

Suomen pelletin valmistuksessa on nykyisin käytössä erityisiä standardeja, ja moni muu Euroopan maa on kehittänyt omat vaatimuksensa pelletin laadulle jo vuosia sitten. Osa Suomen pelletinvalmistajista noudattikin aikaisemmin Ruotsin standardeja, kun EU:lla ei vielä ollut omia standardeja. (Selkimäki et al. 2010b, ss. 6-7.) Vuoden 2010 alussa julkaistu EN 14961-1 -standardi sisältää kaikki kiinteät biopolttoaineet, täten mukaan lukien myös puupelletit. Standardissa on määritelty muun muassa pellettien kosteuspiitoisuuden maksimiprosentti ja kokorajoitukset eri kokoluokkiin kuuluville pelleteille. (Alakangas, ss. 1-2.) Standardointi vaikuttaa positiivisesti erityisesti pieniin pellettiyksiköihin, sillä ne ovat herkempiä pelletin laadunvaihteluista johtuville ongelmille, kuten polttokaluston rikkoutumiselle.

2.2.1. Pelletinvalmistajat

Suomessa on tällä hetkellä Pellettienergian (2011) mukaan noin 24 pellettitehdasta ja kolme tehdasta on rakenteilla. Nykyisellä tehtaiden kapasiteetilla tuotanto voitaisiin jopa kolminkertaistaa, sillä pelkästään puupurua syntyy vuosittain 1,5 M tonnia ja pelletin tuotanto on vain vähän yli 500 000 tonnia vuodessa (Pellettienergia 2011). Suomessa Vapolla on useita pelletinvalmistustehtaita, muun muassa Vilppulassa, Turengissa ja Ylistarossa. Muita suuria pelletinvalmistajia ovat muun muassa Versowood, jolla on toimintaa Vierumäellä ja Juupajoella, sekä M-Pelletti Kuhmossa. (Pellettienergia 2011; Selkimäki & Röser, s. 3; Vapo 2009.) Allaolevassa taulukossa 1 on listattuna tähän tutkimukseen löydetty Suomessa toimivat pellettitehtaat, niiden paikkakunnat ja valmistajien nimet.

Taulukko 1: Suomen pelletinvalmistajat vuonna 2012 (Pellettienergia 2011; Selkimäki & Röser, s. 3; Vapo 2009).

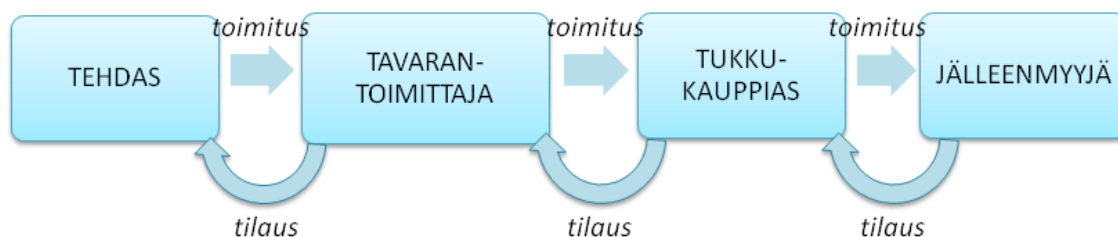
Paikkakunta:	Pellettivalmistaja:
Keminmaa	Lapin Ekolämpö Oy
Kuusamo	Formados Oy (Vapon sopimusvalmistaja)
Raahe	Hiekkapojat Oy
Kajaani	Jannpuu Oy
Ylivieska	Sievin Konepalvelu Oy ja Propellet Oy
Kärsämäki	Vapo Oy
Kuhmo	M-Pelletti Oy
Haukkala	Järvisseudun Pelletti Oy
Ylistaro	Vapo Oy
Soini	Nordic Pellet Oy
Peräseinäjoki	Vapo Oy
Haukineva	Vapo Oy
Suolahti	Kurikka Timber Oy
Keuruu	Keurak Oy
Rantasalmi	Savon Bioenergia Oy
Parkano	Parkanon Puupelletti Oy
Vilppula	Vapo Oy
Vierumäki ja Juupajoki	Versowood Oy/Paahtopuu
Punkaharju	MM-Pelletti
Yläne	Yläneen bioenergia Oy (Vapon sopimusvalmistaja)
Laitila	Lokapelletti Oy
Turenki	Vapo Oy
Nastola	Imex Wood
Hollola	Finn Pellets Oy
Kotka	Kotkan Polttopuu

Pellettiä myyvät yllä olevien valmistajien lisäksi muutamat valtakunnalliset ketjut, kuten Agrimarket, Rautia ja Starkki (Pellettienergia). Lisäksi on olemassa pienempiä pelletinvalmistajia, jotka myyvät pellettejä muun muassa pienille pellettiyksiköille säkki- tai irtotavarana. Tässä tutkimuksessa keskitytään Vapo Oy:n tarjoamiin pellettikuljetuksiin Vilppulan ja Turengin tehtailta, sillä molemmat tehtaat sijaitsevat alle 100 kilometrin päässä Tampereen Sarankulman pellettilämpökeskuksesta, jolloin kuljetukset ovat vielä kannattavia ja vievät vähiten aikaa muihin valmistajiin verrattuna. Muita lähellä olevia toimittajavaihtoehtoja voisivat olla muun muassa Parkanossa sijaitseva Parkanon Puupelletti Oy ja Hollolan Finn Pellets Oy.

Euroopassa suuria pelletinvalmistajia on muun muassa Ruotsissa, Saksassa, Itävallassa ja Italiassa. Myös Venäjä ja Kanada ovat merkittäviä pelletintuottajamaita. (Pelletsatlas 2009b, s. 6.) Suomessakin merkittävällä pellettivalmistajalla Vapolla on pellettituotantoa myös Ruotsissa, Puolassa ja Tanskassa (Vapo 2011a). Vaikka Suomessa on runsaasti pelletin valmistajia, voi ulkomailta tuonti toimia vaihtoehtona kotimaisille pellettitoimituksille esimerkiksi tilanteissa, joissa pellettien toimituksessa on kotimaassa viivästyksiä tai kun halutaan tilata erittäin suuria määriä kerralla, esimerkiksi laivakuljetuksena.

2.3. Toimitusketju ja sen hallinta

Tyypillinen toimitusketju koostuu raaka-aineista, joista tuotetaan valmiita tuotteita tehtaissa, joista ne kuljetetaan varastoihin ja edelleen jälleenmyyjille tai muille asiakkaille. Toimitusketju on siis monimutkainen kokonaisuus, joka muodostuu tavarantoimittajista, tehtaista, varastoista, raaka-aineista sekä keskeneräisistä ja valmiista tuotteista. (Simchi-Levi et al. 2004, s. 1.) Yhteen toimitusketjuun saattaa liittyä lukuisia prosesseja, joissa on mukana useita organisaatioita. Toimitusketju on siis usean eri tahon yhteistoimintaa. (Harrison & van Hoek 2008, s. 9.) Kuvassa 2 on esitettyä yksinkertainen toimitusketju, jossa on vain yksi tehdas, tavarantoimittaja, tukkukauppias ja jälleenmyyjä. Jälleenmyyjä tekee tilauksen tukkukauppiaille kysynnän mukaan, tukkukauppias saa tuotteet tavarantoimittajalta, joka tekee tilauksen tehtaalle (Simchi-Levi et al. 2004, s. 21).



Kuva 2: Yksinkertaistettu toimitusketju (Simchi-Levi et al. 2004, s. 21).

Toimitusketjun hallinnan tavoitteena on jatkuvasti varmistaa tuotteen kulkeminen, niin sanottu virtaus (”flow”) lähteestä loppuasiakkaalle. Täten toimitusketjun hallinta voidaan määritellä kaikkien toimitusketjussa esiintyvien toimintojen suunnitteluksi ja hallinnoinniksi, aina raaka-aineen toimittajista loppuasiakkaisiin. Tarkoituksena on varmistaa loppuasiakkaan tarpeisiin vastaaminen. (Harrison & van Hoek 2008, s. 7, 12.) Simchi-Levi et al. (2004, s. 2) määrittelee toimitusketjun hallinnan lähestymistavoiksi, joilla tavarantoimittajat, valmistajat, varastot ja myymälät saadaan yhdistettyä niin, että tarvittava määrä tuotteita saadaan valmistettua ja toimitettua oikeisiin paikkoihin oikeaan aikaan. Tavoitteena on minimoida kustannukset samalla kun pyritään ylläpitämään riittävä palvelutaso (Simchi-Levi et al. 2004, s. 2). Tässä tutkimuksessa toimitusketju ja sen hallinta käsitetään juurikin sujuvana kokonaisuutena, jonka tarkoituksena on vastata kysyntään ja vaatimuksiin mahdollisimman tarkasti.

Jotta toimitusketjun hallinta on sujuvaa, yrityksen on kehitettävä selkeät päämäärät ja suunnitelmat, joita noudatetaan suoraviivaisesti. Simchi-Levi et al. (2008, s. 12) mainitseekin, että toimitusketjun hallintaan liittyvät asiat ja ratkaisut voidaan jakaa strategiaan, taktisiin ja toiminnallisiin valintoihin. Strategisen tason valinnat vaikuttavat pitkään yrityksen toimintaan, sillä päätöksiin kuuluvat muun muassa tuote-, tavarantoimittaja- ja yritysysteistyövalinnat sekä tehtaiden määrä ja sijainnit (Simchi-Levi et al. 2008, s. 12). Strategiset päätökset ovat siis käytännössä erittäin merkittäviä koko yrityksen menestymisen kannalta ja epäonnistuneet ratkaisut saattavat olla kohtalokkaita yrityksen toiminnalle. Tämän tutkimuksen pellettilämpökeskuksen strategiset valinnat sisältävät muun muassa pellettitoimittajien valinnan sekä päätökset siilojen koosta ja lämpökeskuksen tehon maksimiarvosta.

Taktiset ratkaisut vaikuttavat yrityksen toimintaan lyhyemmällä aikavälillä kuin strategiset: usein taktisia valintoja päivitetään tai muutetaan muutaman kerran vuodessa. Näitä päätöksiä ovat muun muassa varastointi- ja kuljetusvalinnat. (Simchi-Levi et al. 2008, s. 12.) Taktisilla valinnoilla voidaan tehdä kaivattuja muutoksia yrityksen toimintaan ja näillä päätöksillä pystytään edesauttamaan strategisten päätösten toteutumista. Pellettilämpökeskuksella taktinen valinta on esimerkiksi päätös olla rakentamatta varmuusvarastoa lämpökeskuksen alueelle. Sen sijaan toiminnalliset valinnat ovat Simchi-Levi et al.:n (2008, s. 12) mukaan jokapäiväisiä päätöksiä koskien esimerkiksi tavarankuljetuksia ja aikataulutuksia. Näillä valinnoilla pystytään vaikuttamaan erityisesti asiakastytyväisyyteen, sillä onnistuneet toimitukset ovat sekä yrityksen että asiakkaiden etu.

Niin toiminnallisiin, taktisiin kuin strategiaankin valintoihin liittyen on huomioitava, että kustannusten minimointi on merkittävä osa onnistunutta toimitusketjua, sillä se edesauttaa menestymistä markkinoilla. Asiakas ostaa mielellään edullista, ja jotta tämä olisi mahdollista, on koko toimitusketjun oltava kustannustehokas. (Harrison & van Hoek 2008, s. 18.) Muun muassa logistiset kustannukset voivat kuitenkin nousta hyvin korkeiksi, jos kuljetuksia täytyy tehdä usein ja/tai pienissä erissä. Kuljetukset onkin pyrittävä optimoimaan niin, että koko mahdollinen kapasiteetti tulisi käytettyä, niin me-

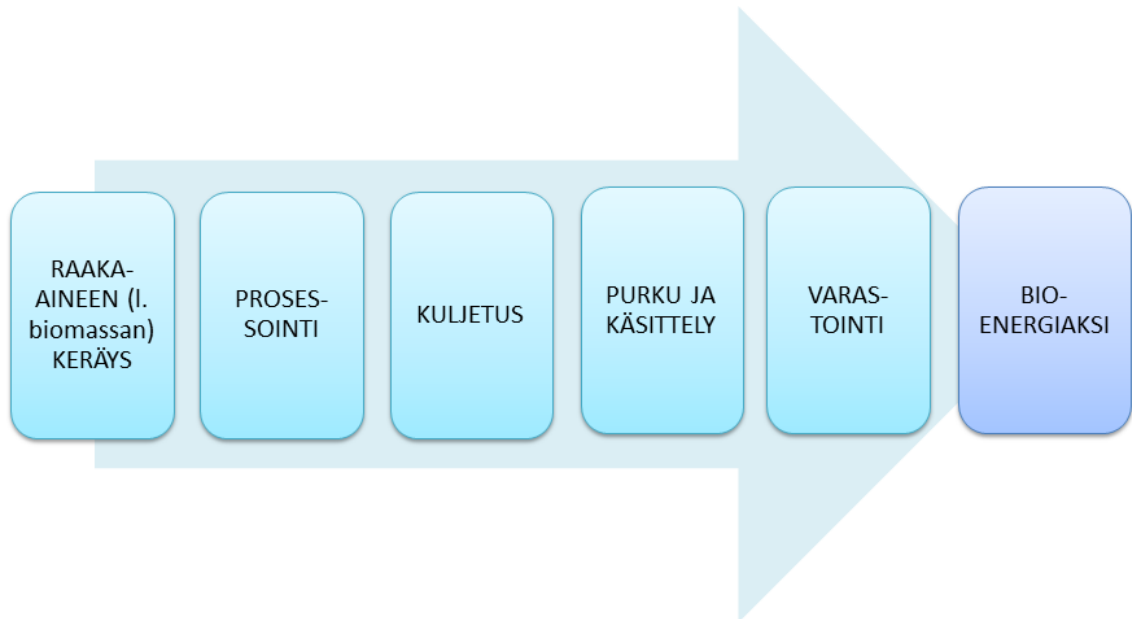
no- kuin paluumatkalla. Täten ei synny turhia lisäkustannuksia muun muassa tyhjiä paluukuljetuksista.

Logistiikalla on suuri merkitys toimitusketjua suunniteltaessa juuri sen aiheuttamien kustannusten takia. Kuljetusten merkitys korostuu pitkillä välimatkoilla, joita joudutaan tekemään maantieteellisistä syistä merkittäviä määriä: esimerkiksi Suomessa yli 80 prosenttia tavarakuljetuksista tehdään teitse. Tiekuljetuksia ei tarvita pelkästään valmiiden tuotteiden toimituksissa, vaan myös raaka-ainetoimituksissa. (Kuljetusala.com.) Salanne & Rantala (2007, s. 6) huomauttavat kuitenkin, että pelkät kuljetukset ja niiden aiheuttamat kustannukset eivät ole liiketoiminnan tuloksen kannalta merkittävässä osassa, vaan kustannukset riippuvat koko toimitusketjun hallinnasta ja siinä onnistumisesta.

Koska yhdessä toimitusketjussa voi olla mukana lukuisia yrityksiä, on kuljetuksillekin asetetut vaatimukset hyvin vaihtelevia riippuen siitä minkälaisesta yrityksestä ja tavarankuljettamisesta on kyse. Tämä asettaa oman haasteensa myös kuljetusyrityksille ja kuljettajille, sillä työtehtävät voivat vaihdella ja sisältää esimerkiksi raaka-ainetoimituksia, välivaraston täydennystä tai asiakaspalvelutilanteita (Salanne & Rantala 2007, s. 7). Kuljetusyritysten on siis pystyttävä reagoimaan muuttuviin vaatimuksiin, jotka liittyvät muun muassa aikatauluihin, kuljetettavaan tavarahan ja sen aiheuttamiin toimenpiteisiin. Täten myös toimitusketjun hallinnassa on huomioitava tarjottavien palveluiden monipuolisuus ja joustavuus (Salanne & Rantala 2007, s. 7).

2.3.1. Bioenergian toimitusketju ja haasteet

Biomassan ja siitä saatavan bioenergian toimitusketju ei suuresti eroa muunlaisista toimitusketjuista, mutta huomattavin ero on yleensä toimitusketjun vaiheiden suuremmassa määrässä. Tämä johtuu siitä, että biomassa vaatii prosessointia ja käsittelyä ennen kuin se on valmista varastoitavaksi ja käytettäväksi. Kuvassa 3 on kuvattu koko toimitusketju biomassasta bioenergiaksi. Ensin raaka-aine kerätään esimerkiksi metsänhakualueelta, jossa biomassa yleensä syntyy sivutuotteena. Tämän jälkeen biomassa kuljetetaan prosessoitavaksi sahalle tai muulle biomassaa hyödyntävälle taholle. Prosessin tarkoituksena on parantaa biomassan kuljetettavuutta esimerkiksi tekemällä puuhakkeesta pienempiä puulastuja. Näin pystytään myös kuljettamaan suurempia määriä kerralla tehtaalalle, kun massa on jo kertaalleen prosessoitu sopivampaan muotoon. Tehtaalalle kuljetuksen jälkeen biomassa puretaan ja joko varastoidaan ennen käsittelyä tai vasta käsittelyn jälkeen. Biomassa käsitellään biopolttoaineeksi, joko kiinteäksi tai nestemäiseksi, ja varastoidaan joko tehtaalalla tai kuljetetaan loppukäyttäjälle varastoitavaksi ja bioenergiakäyttöön. (Rentizelas et al. 2009, s. 889.)



Kuva 3: Biomassasta bioenergiaksi -toimitusketju (mukaillen Rentizelas et al. 2009, s. 889).

Kuljetuksia voi olla toimitusketjun useissa eri vaiheissa, mutta kuvaan 3 on merkitty vain olennaisin kuljetus, prosessointipaikalta biomassan käsittelypaikalle. Muut kuljetukset riippuvat välimatkojen pituuksista ja kuljetusmuodoista, sillä joissakin tapauksissa kuljetuksia ei tarvita lainkaan. Esimerkiksi pelletit voidaan varastoida siiloihin, joista ne siirretään suoraan putkia pitkin energiakäyttöön eikä tässä välissä tarvita erillistä kuljetusta. Toisaalta pellettien raaka-ainetta voidaan joutua kuljettamaan ennen prosessointia pitkiäkin matkoja riippuen keräys- ja prosessointipaikan etäisyyksistä.

Koska bioenergian (ja biomassan) toimitusketjussa on useita tekijöitä, on myös mahdollisia ongelmia lukuisia. Gunnarsson et al. (2003, s. 106) listaa seuraavanlaiset bioenergian toimitusketjun haasteet, joita bioenergiayritykset kohtaavat toiminnassaan:

- lukuisat kohteet, joista bioenergiaa saadaan (sahat, metsät, satamat)
- useita tilaajia (lämpökeskuksia)
- lukuisia eri bioenergiavaihtoehtoja
- useita erimittaisia ajanjaksoja (toimituksille, kysynnälle, raaka-aineen hankinnalle)
- varastojen sijainti
- rajoitukset biomassan määrille (varastotiloissa, satamissa, kuljetuksissa)
- logistiikan suunnittelu

Rentizelas et al. (2009, s. 888) huomauttaa lisäksi, että biomassan toimitusketjun haasteena ovat myös kustannukset. Biomassan muuttaminen bioenergiaksi voi olla erittäin kallista muun muassa toimitusketjun monimutkaisuuden ja teknologian kalleuden takia (Rentizelas et al. 2009, s. 888). Haasteet ja ongelmat pystytään välttämään, tai niihin

osataan ainakin varautua hyvällä suunnittelulla ja tekemällä esimerkiksi riskikartoitus asioista, jotka voivat muodostaa riskin toiminnalle.

2.3.2. Kansainvälisen toimitusketjun hallinta

Yhä useammin yritykset laajentavat toimintaansa muihinkin maihin, jotta ne pystyisivät vastaamaan asiakkaiden tarpeisiin paremmin. Vaikka itse toimitusketjun rakenne on kansainvälisessä toiminnassa samanlainen tai lähes samanlainen kuin kansallisessakin, on kansainvälisessä kaupankäynnissä kuitenkin useita haasteita, joita ei kansallisessa toimitusketjussa esiinny. Toisaalta kansainvälinen toimitusketju voi hyvinkin tuoda paljon etuja kaupankäyntiin oikein hallittuna. (Simchi-Levi et al. 2004, s. 223.) Merkittäviä haasteita voivat olla Harrison & van Hoekin (2008, s. 100) mukaan esimerkiksi kulttuurien ja maiden väliset erot, sillä erilaiset käytännöt, eri kieli ja valuutta voivat hankaloittaa toimintaa suuresti.

Yritykset voivat olla kansainvälisiä monin eri tavoin: tehtaot voidaan perustaa ulkomaille niiden edullisuuden takia, yrityksen asiakkaat voivat olla ulkomailta tai toimintaa halutaan yleisesti laajentaa (Harrison & van Hoek 2008, s. 102). Kansainvälisen toiminnan laajuus riippuu muun muassa asiakaskunnasta, sillä mitä enemmän yrityksellä on jo olemassa olevia tai potentiaalisia asiakkaita ulkomailta, sitä järkevämpää on siirtää tai laajentaa ainakin osa toiminnasta ulkomaille. Kustannukset ovat usein suurin syy kansainväliseen toimintaan, sillä niin työvoima kuin tehtaiden rakentaminen voi olla muualla huomattavastikin edullisempaa kuin kotimaassa.

Tämän työn pellettilämpökeskukselle kansainvälinen toimitusketju voi tulla ajankohtaiseksi silloin, kun pellettejä tarvitsee tilata ulkomailta esimerkiksi kotimaisten pellettien toimitusviivästysten takia. Täten toimitusketjun rakenne ei muuttuisi suuresti, sillä kaikki muu toiminta olisi edelleen kotimaassa. On kuitenkin hyvä tarkastella kansainvälistä toimitusketjua myös tämän tutkimuksen kannalta, sillä pellettien saatavuus ei aina ole varmaa Suomessa, jolloin kuljetuksia voidaan joutua tekemään useinkin muista maista. On mietittävä mistä pellettejä tilataan, paljonko niitä tilataan ja miten varmistetaan siitä, että toimitukset ovat luotettavia ja pelletit korkealaatuisia.

Kansainvälinen toiminta on haaste logistiikalle, sillä kuljetusten ajoittaminen voi olla hankalaa, välimatkat pidempiä, vaihtoehtoisia kuljetusmuotoja voi olla useita ja rajamuodollisuudet vievät myös oman aikansa (Harrison & van Hoek 2008, s. 116). Maiden välillä voi olla Rushton et al.:n (2006, s. 363) mukaan suuriakin eroja esimerkiksi liikenneinfrastrukturissa, sillä joissakin maissa on laajat ja toimivat rautatieverkostot, toisaalla tiekuljetukset voivat olla ainut järkevä vaihtoehto. On myös otettava huomioon lisämaksut, joita joissakin maissa joutuu maksamaan esimerkiksi tullien tai verojen muodossa. Lisäksi lait voivat rajoittaa kuljetustapoja muun muassa kuljetusvälineen koon tai painorajoitusten perusteella. (Rushton et al. 2006, s. 363.)

Kuten jo luvussa 1.1. mainittiin, voivat maantieteellispoliittiset ongelmat vaikeuttaa kansainvälistä toimintaa suuresti. Esimerkiksi SARS-epidemian aikana jouduttiin tekemään merkittäviä muutoksia kansainvälisiin kaupankäyntireitteihin muun muassa matkustusrajoitteiden takia. Samoin terrori-iskujen uhka tai muu poliittinen konflikti voi vaikuttaa suuresti kansainvälisen kaupankäynnin vapauksiin. (Harrison & van Hoek 2008, s. 110.) Tällaiset tapaukset eivät kuitenkaan välttämättä vaikuta maan sisäiseen logistiikkaan, varsinkaan jos ei olla riippuvaisia muiden maiden raaka-aineista tai muista toimituksista. Esimerkiksi Suomen pelletti- tai sahatavarakuljetukset eivät ole häiriö-alttiita muissa maissa tapahtuville konflikteille.

On kuitenkin tiedostettava, että häiriöitä voi syntyä niin kansainvälisissä kuin kansallisissakin toimitusketjuissa. Kun nämä logistiset haasteet otetaan huomioon logistiikkaketjua suunniteltaessa, vältytään suurilta yllätyksiltä itse toteutuksessa. Yksityiskohtainen suunnittelu vaatii toki resursseja, mutta nämä kustannukset säästetään myöhemmin, kun logistiikkaketju on toimiva, eikä muun muassa viivästyksiä esiinny tai niihin osataan varautua.

2.3.3. Toimitusketjun toimintavarmuus ja riskit

Toimitusketjun hallinnalle ominaista on toimitusketjun toiminnan varmistaminen. Jatkuvasti muuttuva ympäristö asettaa suuria haasteita toimitusketjulle ja moni asia vaikuttaa ketjun toimintavarmuuteen:

- kysynnän ja tarjonnan yhteensovittamisen vaikeus
- tilaus- ja varastointimäärät vaihtelevat huomattavasti eri vuosina ja vuoden sisällä eri kuukausina
- kysynnän ennustaminen on vaikeaa ja se ei aina pidä paikkaansa
- epävarmuustekijöitä on useita: muun muassa valmistusaikojen vaihtelut, kuljetusajat ja komponenttien saatavuus

Näiden epävarmuustekijöiden poistaminen kokonaan on mahdotonta, mutta niitä pystytään minimoimaan erinäisin keinoin, kuten yhteistyöllä muiden yritysten kanssa tai keskittämällä varastointi yhteen paikkaan. (Simchi-Levi et al. 2004, ss. 5-7, 11.) Toimintavarmuudella tarkoitetaan tässä työssä yrityksen kykyä toimia sujuvasti erilaisissa tilanteissa, myös poikkeusolosuhteissa. Toimintavarmuuteen vaikuttaa suuresti riskit ja yrityksen kyky tunnistaa ja hallita näitä riskejä.

Jüttner (2005, s. 122) määrittelee toimitusketjun riskit muuttujiksi, joita ei voida varmuudella ennustaa, ja joiden takia tuotanto voi keskeytyä tai hidastua. Riskejä voivat aiheuttaa niin toimitusketjun ulkoiset tekijät, kuten luonnonkatastrofit tai poliittiset ongelmat, kuin sisäisetkin tekijät, kuten kysynnän ja tarjonnan yhteensovittamisen hankaluus. Mikä tai kuka tahansa toimitusketjun osapuolista voi olla sisäisen riskin aiheuttaja. (Jüttner 2005, s. 122, 124.) Riskit on saatava mahdollisimman pieniksi, jotta toimitus-

ketjun toimintavarmuus ei kärsi, ja jotta asiakkaat tilaavat jatkossakin kyseisen yrityksen tuotteita. Tämä riskien minimointi vaatii sujuvaa toimitusketjun hallintaa.

Yksi suurimmista toimintavarmuuteen vaikuttavista tekijöistä on kysynnän ennustamisen vaikeus. Vuodenaikojen mukaan kysyntä saattaa vaihdella: esimerkiksi uusiutuvan energian raaka-aineet (eli biomassat) ovat yleensä kausituotteita, joiden saatavuus on eri vuodenaikoina hankalampaa kuin toisina. Samoin muun muassa energiantuotannossa suurin polttoaineen tarve on talviaikaan lämmönkulutuksen kasvun takia.

Metsäbiomassasta tehdyn bioenergian toimittajat ovat velvoitettuja toimittamaan sopimuksenmukaisen määrän bioenergiaa, joka on yleensä määritelty megawattitunteina (MWh), tai tonneina, jos kyseessä on esimerkiksi pelletit. Sopimuksessa on yleensä määritelty kuukausittainen bioenergian tarve, vaikka sopimus olisikin pidemmälle aikavälille vuodenaikojen tarpeen vaihtelevuuden takia. Useimmissa sopimuksissa on myös pykälä sille, että lämpökeskus voi tarvittaessa lisätä tai vähentää sovittua bioenergian määrää 10-15 %. Tämä siksi, että lämpökeskus pystyisi mahdollisimman hyvin vastaamaan odottamattomiin sään vaihteluihin. Lämpökeskus joutuu tällaisen muutoksen tapahtuessa maksamaan sopimussakon. (Gunnarsson et al. 2003, s. 105.)

Kysynnän ennustamisesta tekee vaikeaa myös toimitusketjun monimuotoisuus. Toimitusketjussa voi olla lukuisia eri yrityksiä, eivätkä kaikki tiedot välity ketjun kaikille osapuolille. Toimitusketjun integrointi kaikille ketjuun kuuluville yrityksille sopivaksi voi olla haastavaa esimerkiksi erilaisten teknisten ratkaisujen ja toimintatapojen takia. Jos esimerkiksi tukkukauppiaalla ei ole pääsyä jälleenmyyjän kysyntää koskeviin tietoihin, täytyy tukkukauppiaan ennustaa kysyntä aikaisemmin tehtyjen tilausten perusteella. Tämä johtaa usein siihen, että tukkukauppiaalla on oltava suuri varavarasto, jotta kysyntään pystytään vastaamaan nopeasti. (Simchi-Levi et al. 2004, ss. 21-22.) Erityisesti pitkään säilyvien tuotteiden kysyntä saattaa vaihdella suurestikin, jos jälleenmyyjä tilaa varastoon suuren määrän kerralla ja tekee seuraavan tilauksen vasta, kun varasto on tyhjentynyt.

Tästä kysynnän vaihtelusta huolimatta valmistajan on pyrittävä vastaamaan asiakkaan tarpeisiin viivyttämättä. Näin ylläpidetään hyvää asiakassuhdetta ja varmistetaan yrityksen kannattavuus. Usein yritykset pitävätkin varavarastoa, mikä voi kysynnän vaihtelun lisäksi johtua Rushton et al.:n (2006, s. 198) mukaan muun muassa valmistuskustannusten minimoinnista, muuttuvasta raaka-aineiden tarjonnasta tai mahdollisten tuotannonseisausten vaikutusten välttämiseksi.

Kuljetuslogistisesta näkökulmasta toimintavarmuus ja riskienhallinta ovat yritysten sekä viranomaisen vastuulla. Viranomaiset pyrkivät kartoittamaan mahdolliset riskit ja häiriöt, sekä varmistamaan toiminnan erinäisissä häiriötilanteissa. Kuljetuslogistiikkayritykset ovat vastuussa oman toimintansa riskienhallinnasta ja häiriötilanteiden vaikutus-

ten minimoinnista. Tavoitteena on pystyä säilyttämään toimintavalmiudet myös erityis-tilanteissa eli häiriötapauksissa. (LOGHU3 2011, s. 2.)

Logistiikanalan yrityksille on erittäin yleistä nopeasti muuttuvat aikataulut ja päivittäin vaihtelevat toimitukset ja reitit. Täten riskienhallinta ja toimintavarmuuden takaaminen on usein luonnollinen osa logistiikan suunnittelua, eikä niinkään vaadi erityisiä toimenpiteitä ainakaan pienissä tai keskisuurissa yrityksissä, joiden toiminta ei ole kovin laajalti verkottunut. Toisaalta varautumattomuus suuronnettomuuksiin saattaa helposti johtaa siihen, että näistä elpyminenkin kestää pitkään. (LOGHU3 2011, s. 4.)

2.4. Kuljetus- ja varastointistrategiat

2.4.1. Biomassan kuljetus

Biomassaa, bioenergian raaka-ainetta kuljetetaan yleensä tiekuljetuksina, sillä biomassaa saadaan yleensä metsistä tai maataloilta, joille pääseminen on hankalaa. Lisäksi välimatkat pyritään pitämään mahdollisimman lyhyinä ja samalla tiekuljetukset ovat joustavampi vaihtoehto verrattuna esimerkiksi rautatiekuljetuksiin. (Rentizelas et al. 2009, s. 888.) Näin kuljetukset pysyvät kustannuksiltaan ja ajallisesti kilpailukykyisinä. On tosin otettava huomioon, että ulkomaankuljetukset ovat eri asia. Lisäksi suuret biomassakuljetukset voivat olla kannattavampia, kun käytetään muita kuljetusmuotoja kuin tiekuljetuksia.

Biomassaa voidaan kuljettaa joko tilaamalla kuljetus ulkopuoliselta kuljetusyritykseltä tai käyttämällä biomassan tuottajan, esimerkiksi maanviljelijän tai metsänomistajan omia kulkuvälineitä kuten traktoreita. Valinta riippuu siitä kuinka hyvin mikäkin kulkuväline on käytettävissä, mutta usein helpoin ratkaisu on tilata kuljetus erilliseltä yritykseltä, sillä aikataulutus on näin helpompaa. (Rentizelas et al. 2009, s. 891.) Muun muassa sahanpurun kuljetus pellettitehtaalte voidaan toteuttaa rekkakuljetuksina tai suoraan sahalta kuljetinta pitkin, jos saha on tehtaan vieressä. Näin säästytään ylimääräisiltä kuljetuskustannuksilta ja ajankululta.

Rautatiekuljetuksissa juna liikennöi rataverkolla sijaitsevalle lastauspaikalle, johon kuorma-autot kuljettavat esimerkiksi metsähakkeen. Metsähake saatetaan murskata vasta terminaalissa ennen junaan lastausta, sillä tarvittava laitteisto on helpompi säilyttää terminaalissa kuin kuljettaa tienvarsille tai metsään. Laivakuljetukset ovat rakenteeltaan samankaltaisia kuin rautatiekuljetukset, suurin ero on kalustossa, sillä lastaukseen ja purkuun vaaditaan kestävämpää laitteistoa. (Korpinen et al. 2011, s. 41.) Juna- ja laivakuljetuksissa on ongelmana se, että niin lastaus- kuin purkupaikallakin tarvitaan auto- kuljetuksia itse määränpäähän. Täten kuluu aikaa ja rahaa kuljetusvälineestä toiseen vaihdettaessa.

Energiakäyttöön tarkoitettua metsäbiomassaa on kuljetettu rautateitse Suomessa jonkin verran viimeksi kuluneen 50 vuoden aikana, mutta usein nämä ovat olleet vain kokeiluja

tai kausiluontoista toimintaa ilman säännöllisiä aikatauluja. Myös vesiteitse tapahtuvat kuljetukset ovat jääneet vain kokeilujen tasolle. Näitä kuljetusmuotoja voitaisiinkin hyödyntää silloin, kun itse kohdealueella metsäbiomassan tarve on erittäin pieni, mutta biomassaa on kuitenkin paljon tarjolla. Näiden kuljetusten suunnittelussa ongelmana on kuitenkin vähäinen saatavilla oleva tieto esimerkiksi kustannuksista. (Korpinen et al. 2011, s. 40.) Myös jatkuvasti lisääntyvä bioenergian tarve saattaa lisätä rautatiekuljetusten tarvetta tulevaisuudessa. Energiatieteiden tutkimuskeskuksen toimintaan tähdittäessä rautatiekuljetukset ovat yksi hyvä kuljetusvaihtoehto. (Tahvanainen & Anttila 2011, ss. 3361-3362.)

2.4.2. Pelletin kuljetusstrategiat

Pellettien kuljetus on haasteellista, sillä samalla kun raaka-aineet pelletin valmistukseen on hyvä saada hankittua mahdollisimman läheltä, on pellettitehtaan sijainnin oltava myös lähellä käyttökohdetta, sillä ei ole kannattavaa kuljettaa puulastuja ja sahatavaraa pitkiä matkoja. Pitkien kuljetusten kannattavuus riippuukin kuljetettavasta materiaalista, mutta esimerkiksi pellettien valmistus on edullista, joten niiden kuljettaminen pitkiä matkoja ei olisi kovin kustannustehokasta. Toisaalta pelletit kuitenkin soveltuvat hyvin myös pitkän matkan kuljetuksiin niiden koon ja muodon vuoksi. (Rentizelas et al. 2009, s. 891; Pelletsatlas 2009c, s. 8.) Pellettejä voidaan kuljettaa joko irtotavarana eli bulkkina tai pussitettuna loppukäyttäjälle. Pussit ovat erityisesti pienten pellettiyksiköiden ja maanviljelijöiden suosiossa niiden pienen koon ja helpon kuljetettavuuden ja varastoitavuuden ansiosta. (Pelletsatlas 2009c, s. 8.)

Kustannukset huomioon ottaen pellettien, kuten muunkin biomassan tiekuljetus on Pelletsatlaksen (2009c, s. 9) mukaan kannattavaa, jos välimatkat ovat korkeintaan 100 kilometriä. Suomessa välimatkat ovat kuitenkin pitkiä, joten kuljetukset voivat olla tätäkin pidempiä. Kuorma-autokuljetukset ovat käytetyin kuljetusmuoto pellettien kuljetuksessa ja kuljetus tapahtuu yleensä irtotavarana (Selkimäki & Röser, s. 7). Pellettejä voidaan kuljettaa joko pneumaattisesti säiliöautoilla tai normaaleilla kuorma-autoilla. Tärkeintä on, että kuorma-auton kori tai kontti on riittävän tiivis pelleteille. On myös otettava huomioon asiakkaan purku- ja varastointiratkaisut, jotta kalusto soveltuu purkupaikan tekniikkaan. Yhteen kuorma-autoon mahtuu noin 40 tonnia pellettejä. (Liite 1.) Minimikuljetusmäärä on 3 tonnia (Pellettienergia 2010).

Junakuljetukset ovat kannattavia pidemmällä, yli 200 kilometrin välimatkoilla, ja suurrehkojen erien kuljetuksissa. Yleensä rautatiekuljetuksia käytetäänkin, kun pellettejä tai raaka-aineita kuljetetaan isompiin lämpökeskuksiin tai pelletinvalmistajille. (Pelletsatlas 2009c, ss. 9-10.) Muut pitkien välimatkojen kuljetukset on kannattavinta tehdä vesiteitse, jos tämä vain on maantieteellisesti mahdollista. Suomen sisäiset kuljetukset vesiteitse ovat kannattavia vain Saimaan alueella, mutta toki ulkomaankuljetuksiin vesikuljetukset ovat erittäin soveltuvia myös muualla Euroopassa muun muassa kanavien kautta. (Pelletsatlas 2009c, s. 10.) Suomessa pellettien ulkomaankuljetukset toimitetaan Selki-

mäki & Röserin (s. 7) mukaan muun muassa Joensuun, Kokkolan, Loviisan ja Oulun satamista.

2.4.3. Biomassan varastointi ja sen vaatimukset

Teollisuudessa varastotyypit jaetaan usein raaka-aine-, puolivalmiste- tai valmistevarastoihin sen mukaan, varastoidaanko raaka-aineita, keskeneräisiä tuotteen komponentteja vai valmiita tuotteita (Sakki 1999, s. 86). Koko toimitusketju huomioon ottaen varastotyypit vaihtelevat toimitusketjun yrityksien välillä riippuen siitä, mitä komponentteja mikäkin yritys toimitusketjussa valmistaa tai kuljettaa. Varastointimuotoja on lukuisia riippuen muun muassa tuotteen varastointivaatimuksista ja määrästä.

Biomassan varastointi muotoutuu sen mukaan, miten biomassa on pakattu ja kuinka se kestää sääolosuhteita. Täten myös se, missä vaiheessa tuotantoprosessia biomassa varastoidaan, vaikuttaa varastoinnin tyyppiin. Muun muassa sahanpuru kestää kosteitakin varastointitiloja, jos se kuitenkin vielä kuivataan myöhemmin ennen prosessointia. Sen sijaan jauhamisen jälkeen sahanpuru on varastoitava kuivaan paikkaan, jotta biomassan laatu säilyy korkeana ja jotta sitä pystytään jatkossa hyödyntämään energiana. Biomassaa varastoidaan usein kaikissa toimitusketjun vaiheissa, jotta pystytään vastaamaan biomassan kysyntään niin bioenergiatehtaissa kuin muissakin käyttökohteissa (Gold & Seuring 2010, s. 35). Kuten jo luvussa 2.3.3. mainittiin, oman haasteensa aiheuttaa myös biomassan kausittainen saatavuus, jolloin raaka-ainetta on pystyttävä varastoi-
maan suuriakin määriä pidemmän ajan tarpeisiin.

Pellettitehtaalla sahanpuru on varastoitava niin, että sen sekaan ei joudu epäpuhtauksia kuten kiviä. Epäpuhtaudet saattavat aiheuttaa ongelmia pellettien valmistusprosessissa ja myöhemmin pellettilämpökeskuksessa. Muun muassa Vapon Vilppulan pellettitehtaalla sahanpurun varastointi on toteutettu niin, että sahanpuru kulkee suoraan sahalta kuljettimien avulla prosessoitavaksi. Näin vältetään epäpuhtauksilta. Alla olevan kuvan 4 mukaan osa purusta välivarastoidaan tehtaalla ulkoalueelle, mutta myöhemmässä vaiheessa prosessointia sahanpuru puhdistetaan mahdollisista epäpuhtauksista. Epäpuhtaudet voivat olla suurempi ongelma pienillä sahoilla ja tehtailla, sillä niillä ei yleensä ole tiloja esimerkiksi katetuille varastoille, vaan sahanpuru varastoidaan ulkona. (Liite 1.)



Kuva 4: Sahanpurun välivarasto Vapon Vilppulan pellettitehtaalla.

Biomassa voidaan joko paalata, hakettaa tai pelletoida. Paalauksen etuna ovat standardikokoiset pakkaukset, joiden kuljetus ja varastointi on helpompaa kuin esimerkiksi irtotavaran, sillä paalien tiheys on suurempi. Lisäksi paalaus vähentää epäpuhtauksien, kuten sienen, muodostumista biomassaan. Paalit eivät vaadi erityisiä varastotiloja, vaan ne voidaan varastoida esimerkiksi tiensivuun. (Forsberg 2000, ss. 20-21.) Metsähake ja harvennuksessa saatu biomassa voidaan varastoida aluksi esimerkiksi tiensivuun, mutta prosessoinnin jälkeen on huomioitava biomassan käyttötarkoitus ja varastointityyppi on valittava sen mukaan. Usein biomassat vaativatkin kuivaa, katettua varastointitilaa.

2.4.4. Pelletin varastointistrategiat

Kun sahanpuru tai muu puumateriaali on prosessoitu pelleteiksi, on se valmista varastoitavaksi. Pelletit voidaan varastoida joko vedenkestävissä säkeissä tai siiloissa riippuen pellettien määrästä. Myös erilaiset välivarastoratkaisut ovat mahdollisia tehtaan varastokapasiteetista riippuen. (Selkimäki et al. 2010a, s. 3072; Pellettienergia 2009a.) Tärkeää on, että pelletit varastoidaan kuivaan paikkaan, jotta niiden kosteuspitoisuus pysyy alhaisena. Tämä on erittäin tärkeää energiankäytön kannalta, sillä pelletit turpoavat kosteassa paikassa ja hajoavat sahapölyksi, joka ei enää sovellu sellaisenaan energiaksi. (Alakangas & Paju 2002, s. 23.)

Pellettien varastointi on pienissä pellettiyksiköissä helppoa, sillä pellettisäkit ovat siistejä varastoitavia eikä niitä välttämättä tarvitse tilata kerralla suuria määriä, jos tilaa ei ole. Suuremmilla pellettiyksiköillä varastointitilaa tarvitaan luonnollisesti enemmän, mutta jo pelkästään siilot ovat kapasiteetiltaan suuria, jolloin erillisiä varastointitiloja ei välttämättä tarvita, jos pellettejä pystytään tilaamaan usein. Pellettitehtailla pelletit varastoidaan suuriin halleihin, joissa pelletit pysyvät kuivina katetun tilan ansiosta. Näin on tehty kuvassa 5, joka on Vapon pellettitehtaalta Vilppulasta.



Kuva 5: Valmiiden pellettien varasto Vapon pellettitehtaalla Vilppulassa.

Pellettivaraston rakenteen on oltava sellainen, että se kestää pellettien painon sekä sivu- että korkeussuunnassa. Varaston on kestettävä myös painetta, sillä yleensä pelletit puhalletaan sisään. Siilovarastoille on myös omat vaatimuksensa esimerkiksi täyttöputken asennuskorkeudesta, putken sisäpinnan muotoilusta sekä muodostuvan pölyn poisohjaamisesta. Pellettien paloherkkyyden takia on lisäksi otettava huomioon, että varastossa ei saa olla sähkölaitteita, jotka saattaisivat aiheuttaa kipinöintiä varaston sisällä ja aiheuttaa näin tulipalon. (Vapo 2011b.)

2.5. Pelletin toimitusketjussa esiintyvät haasteet ja riskit

Pelletin toimitusketjun haasteet voivat esiintyä toimitusketjun missä vaiheessa tahansa. Pellettien valmistus vaatii monimutkaista tekniikkaa ja tuloksena täytyy syntyä laadukkaita pellettejä. Erityisesti pienten pellettiyksiköiden pellettien tulee olla tasaisen laadukkaita, sillä ylimääräinen sahapöly aiheuttaa ongelmia koneistolle. Samalla pellettien

tulee kestää lastaamista kuljetusvälineisiin ja purkua, mikä saattaa johtaa pellettien hajoamiseen, jos kuljetus- ja purkuvälineet eivät sovellu pelleteille riittävän hyvin. Tämän takia on erittäin tärkeää, että kuljetusvälineet on valittu oikein ja että myös purkupaikalla on panostettu purkutekniikkaan ja kuljettajalle on neuvottu oikea pellettien käsittelytapa. (Alakangas & Paju 2002, s. 38.) Pellettien tilaajan on varmistettava, että kuorma-autolla pääsee vähintään 15 metrin etäisyydelle varastosta (esimerkiksi siilosta), johon pelletit puretaan, purkupaikan maaperä kestää painavan auton ja että auton säiliö mahtuu nousemaan purkutilanteessa noin 10 metriä ylöspäin (Pellettienenergia 2010). Kuljetuskaluston on myös mahdollista purkupaikalle johtavalle tielle ja sieltä pois ongelmitta.

Oman riskinsä pelletintuotannolle tuo pellettien saatavuuden epävarmuus, sillä vaikka Suomessa on tällä hetkellä useita pelletinvalmistajia, tilanne ei ole sama kaikkialla maailmassa. Suomikin on aikaisemmin toimittanut lähes kaikki pellettinsä muihin maihin, mutta jatkossa kotimaan kysyntä kasvaa, jolloin yhä vähemmän voidaan toimittaa ulkomaille. (Alakangas & Paju 2002, s. 38.) Toisaalta on myös otettava huomioon, että jos ulkomaiset pelletinvalmistajat toimittavat pellettejä huomattavasti edullisemmin kuin kotimaiset, on yrityksillä suuri houkutus tilata pellettinsä muualta kuin Suomesta. Tämä on riski, sillä Suomessa on jo nyt jouduttu lopettamaan pellettitehtaita kannattamattomuuden takia (ks. luku 2.2.). Pelletin, kuten muunkin biomassan saatavuudessa voi siis syntyä ristiriita kysyntään nähden. Vaikka ulkomailta tilaaminen olisi edullisempaa, ovat toimitusajat usein pidempiä ja helposti myös epävarmempia eri maiden erilaisten käytäntöjen takia.

Esimerkiksi tehtaiden sijainti vaikuttaa siihen, kannattaako biomassan kuljetuksia toteuttaa. Logistiikka ei siis aina välttämättä ole järkevää, jos etäisyydet ovat kovin pitkiä tai kuljetettava raaka-aineen määrä pieni, jolloin kustannukset voivat olla liian suuria voittoihin nähden. Samaten on huomioitava pelletin prosessoinnissa syntyvät kustannukset: kannattaako raaka-ainetta ylipäänsä prosessoida pelletiksi, vai tuleeko tämä liian kalliiksi? Usein kustannukset voivat olla voittoihin nähden korkeampia silloin, kun prosessoidaan pienehkö määrä pellettejä (tai muuta biomassaa) kerralla, jolloin kuljetuskustannukset ovat määrään nähden suuria.

Jos tämän tutkimuksen pellettilämpökeskukseen tilataan pellettejä ulkomailta, kannattavin kuljetusmuoto määräytyy sen perusteella, mistä pellettejä tilataan ja kuinka suuria määriä. Esimerkiksi Kanadasta tilattaessa laivakuljetukset ovat järkevämpi vaihtoehto, kun taas Ruotsista kuljetettaessa voidaan harkita myös kuorma-autokuljetuksia. Laivakuljetukset eivät välttämättä ole nopein vaihtoehto, sillä lastin käsittelyyn ja satamatoimiin menee paljon aikaa niin lähtö- kuin määräsatamassakin (Rushton et al. 2006, s. 367). Ulkomailta tavaraa tuotaessa on aina otettava huomioon myös kuljetukset kotimaassa, sillä vaikka laivakuljetus olisi kustannuksiltaan edullisempaa kuin kotimaasta tilattaessa, on kustannuksiin lisättävä myös tiekuljetukset satamasta eteenpäin. Hintaeron on oltava kaikkineen huomattavasti edullisempi, jotta ulkomailta tilaaminen olisi kannattavaa. Haasteena laivakuljetuksissa onkin aikataulutusta ja kuljetukset satamasta

lämpökeskukseen. Laivakuljetusten pellettilasti on usein huomattavasti isompi kuin kuorma-autokuljetuksissa, joten pelletit on joko kuljetettava lämpökeskukseen useilla kuorma-autoilla tai varastoitava esimerkiksi sataman läheisyyteen myöhempää kuljetusta varten.

Pellettien varastointi on suuri haaste, sillä varastot vaativat paljon tilaa ja niiden on oltava kuivia, jotta pelletin laatu säilyy hyvänä. Loppukäyttöpaikalla, esimerkiksi lämpökeskuksessa varaston on myös sijaittava teknisten syiden takia erittäin lähellä (noin 15 metrin etäisyydellä) poltinlaitteistoa (kattilaa), jotta kuljetus esimerkiksi putkea pitkin kattilaan olisi mahdollista. Samaten itse pellettipoltinlaitteiston toimivuus on haasteellista, sillä Suomessa ei ole näille erityisiä standardeja ja tekniikka on suhteellisen uutta. Tekniikan haastavuuden takia pellettien käyttö ei ole vielä niin suosittua kuin olisi mahdollista, eikä pellettilämmitystä välttämättä uskalleta hyödyntää, sillä kyseisestä lämmitystekniikasta ei vielä ole riittävästi tietoa. Haastavaa onkin vakuuttaa esimerkiksi omakotitalon rakentaja siitä, että pellettilämmitys on kustannustehokas ja luotettava vaihtoehto perinteisille lämmityskeinoille tai muuhun uusiutuvaan energiaan verrattuna. (Alakangas & Paju 2002, ss. 39-40.)

Pellettien kuljetuskaluston haasteiden lisäksi myös itse kuljetuksissa on omat riskinsä muun muassa aikataulutuksen ja kuljetusmäärän suhteen. Esimerkiksi Tampereelle rakennettavassa pellettilämpökeskuksessa on kaksi silloa, joihin pelletit puretaan suoraan kuorma-autosta. Purku kestää 1-2 tuntia purkutekniikasta johtuen, ja jotta 500 m³-kokoiset siilot täytyisivät kokonaan, tarvitaan useampi kuorma pellettejä. Pellettien kulutus pyritäänkin kattamaan kuljetusten määrän optimoinnilla. On pystyttävä aikataulutamaan pellettikuljetukset ja purku niin, että samaan aikaan purkupaikalla on korkeintaan kaksi autoa, mutta että saman päivän aikana pystytään järjestämään myös useamman kuorman purku.

Kuljetuksiin liittyen riskinä ovat myös toimituksien pitkät viivästymiset, joiden takia koko pellettilämpökeskuksen toiminta saattaa pysähtyä. Tällöin riskinä on toimitusvarmuuden heikkeneminen ja täten lämmöntuotantokustannusten suureneminen, kun lämmöntuotantoon on käytettävä kalliimpaa polttoainetta. Lämpökeskuksen pellettien suurin tarve keskittyy pakkaskaudelle, jolloin muun muassa sääolosuhteetkin voivat olla haasteellisia toimituksille. Seuraavassa taulukossa 2 on yhteenvetona edellä mainitut pelletteihin ja pellettilämpökeskuksiin kohdistuvat riskit ja haasteet sekä huomiot, jotka niihin liittyvät.

Taulukko 2: Pellettien toimitusketjun riskit ja haasteet sekä niihin liittyvät huomiot.

Riski tai haaste:	Huomioitava:
Tekniikan monimutkaisuus	Kustannukset, tiedon puute
Pelletin laatu	Koneiston toimivuus, standardointi, oikea käsittelytekniikka
Pelletin saatavuus	Kysynnän kasvu, ulkomaat vs. kotimaa
Varastointi	Koko, sijainti, kuiva tila
Kuljetukset	Määrä, aikataulut, viivästymiset

Tarkemmin pellettien toimitusketjussa esiintyviä riskejä ja haasteita tutkitaan luvuissa 3.3. ja 4.1., kun selvitetään Tampereen pellettilämpökeskuksen konkreettista pellettien kuljetuslogistiikkaa. Yllä olevat riskit otetaan myös tällöin huomioon.

3. SKENAARIOT

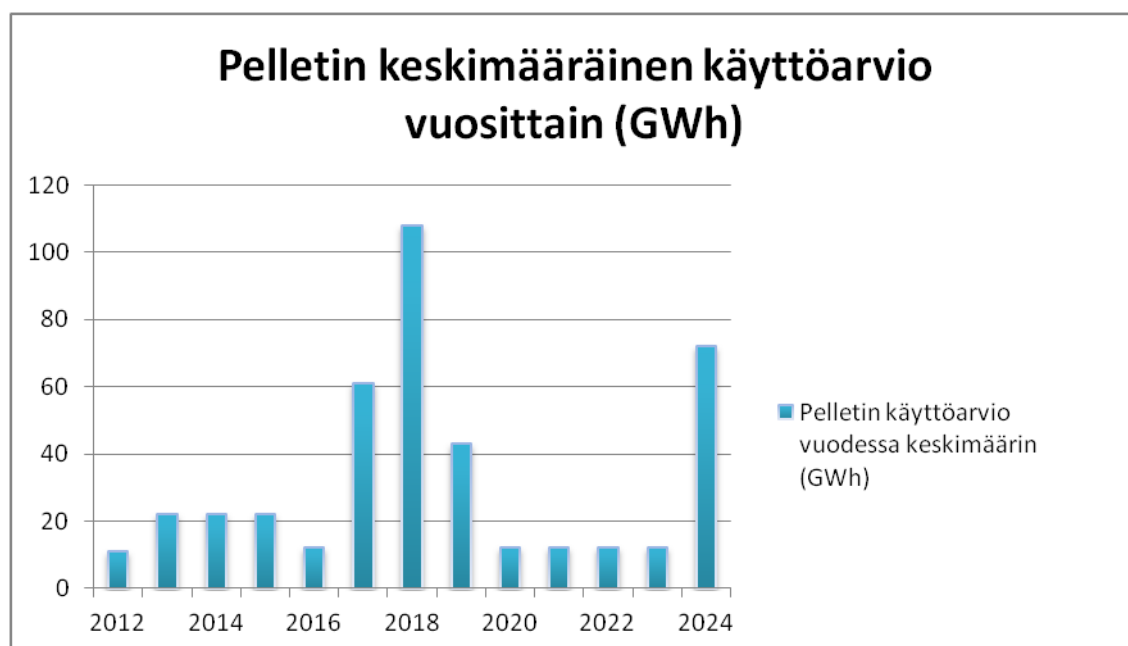
3.1. Pellettilämpökeskuksen toiminta

Tampereelle rakennettavan pellettilämpökeskuksen on tarkoitus toimia huippu- ja varakuormalaitoksena aina tarvittaessa. Tarve keskittyy erityisesti talviin, jolloin lämmön- ja sähköntarve on suurimmillaan. Hintasuhteista riippuen pellettilämpökeskuksen käyttö on edullisempaa kuin maakaasulämpökeskusten, mikä kannustaa pellettilämpökeskuksen käyttöön. Pellettilämpökeskuksen tarve voi vaihdella suurestikin eri vuosina, ja käyttötunteja on vaikea arvioida etukäteen sähkön hinnan ja sääolosuhteiden arvaamattomien vaihteluiden takia.

Lämpökeskuksella on kaksi 500 m³ siiloa, joihin pelletit puretaan ja jotka toimivat käytännössä myös pellettien varastoina. Tavoitteena on, että siilot olisivat aina lähes täynnä, niin että siiloon purettujen pellettien pinta ei laskisi huomattavasti missään vaiheessa. Tämän tavoitteen saavuttaminen on haastavaa, sillä lämpökeskuksen käyttömäärä saattaa vaihdella jopa viikon sisällä. Siilojen pinta laskee öisin, kun kuljetuksia ei tehdä, mutta seuraavana päivänä on taas pystyttävä ajoittamaan kuljetukset ja pelletinpurku niin, että pelletit eivät lopu ja toisaalta niin, että siiloihin ei pureta pellettejä yli niiden kapasiteetin. Tarkoituksena on saada pellettikuljetukset tehtyä klo 6-18 välillä, jotta lähistön asukkaat eivät kärsi meluhaitoista.

Kaaviossa 1 on arvio Tampereen lämpökeskuksen pelletin käytöstä vuotta kohden gigawattitunteina (GWh). Arvio on tehty Tampereen sähkölaitoksen keskimääräisen vuosituotantotason perusteella, josta on arvioitu keskiarvo tuleville vuosille. Kaaviosta näkyy, kuinka suuresti pelletin tarve vaihtelee vuodesta toiseen: erityisesti vuonna 2018 käyttöarvio on huomattavasti muita vuosia suurempi, sillä sähköä ja lämpöä tuottavan Tampereen Naistenlahden voimalaitosyksikön uusintatyöt asettavat suuremman käyttötarpeen pellettilämpökeskukselle. Huipunkäyttöaika, eli aika jona lämpökeskus olisi tuottanut vuoden tuotantonsa nimellistehollaan (suomiSanakirja.fi), ei yleensä ole kovin pitkä, sillä vuoden aikana se voi olla yhteensä noin 500-2000 tuntia, mutta sen on onnistuttava lämmönjakelun takaamiseksi ja kustannusten minimoimiseksi.

Kaavio 1: Pelletin keskimääräinen käyttöarvio vuoden tarkkuudella (Heinonen 2011).



Lämmönkulutuksen vaihtelut ja erityisesti sen kasvu johtuvat ensisijaisesti kulutuksen alueellisesta kasvusta (Heinonen 2011). Tampereen alueelle rakennetaan jatkuvasti uusia rakennuksia, jotka tarvitsevat sähköä ja lämpöä, joissakin tapauksissa kyse voi olla jopa kokonaisista uusista asuinalueista (esim. juuri valmistumassa oleva Vuoreksen alue Tampereella). Naistenlahden voimalaitoksen uudistus takaa myös sen, että lämmöntuotanto on varmaa pitkälle tulevaisuuteen, mikä mahdollistaa uusien asuinalueiden rakentamisen ja niiden lämmönjakelun.

Lämpökeskuksessa poltetusta pelletistä 93 % saadaan lämmöksi ja loput on hävikkiä. Myös esimerkiksi turvevoimaloissa hävikki on samaa luokkaa. Lämpökeskuksen ollessa päällä kattilan minimilämpöteho on 8 MW ja maksimilämpöteho 33 MW, eli polttoainetehona 35 MW. Tehoa säädellään suuremmaksi ja pienemmäksi tarpeen mukaan. Esimerkiksi iltaisin ja öisin tarve on pienempi, jolloin myös kattilan tehoa pienennetään, kun taas aamulla lämmitystehon on oltava korkeampi. Kesäisin lämpökeskus on todennäköisesti kokonaan poissa käytöstä vähäisen lämmönjakelutarpeen takia.

Kuvassa 6 on havainnekuva tämän tutkimuksen pellettilämpökeskuksesta. Oikealla näkyvät siilot, joihin pelletit puretaan. Siiloista pellettipolttoaine jauhetaan pölyksi jauhinmyllyssä, jonka jälkeen pöly käsitellään ja poltetaan kattilassa (MW Power 2012). Kaupunkisijaintinsa takia lämpökeskuksen alue on rajallinen, joten esimerkiksi lisävarastoa ei pystytty rakentamaan samalle alueelle.



Kuva 6: Sarankulmaan rakennettavan pellettilämpökeskuksen havainnekuva (MW Power).

3.2. Pellettien kuljetus ja purku lämpökeskukseen

Pelletit tullaan kuljettamaan Tampereen pellettilämpökeskukseen Vapo Oy:n pellettitehtailta Vilppulasta ja Turengista. Kuljetus suoritetaan kuorma-autoilla ja puretaan autoista suoraan siiloihin paineputkea pitkin. Yhteen kuormaan mahtuu noin 40 tonnia pellettejä ja yhden pellettitonnin tilavuus on noin $1,5 \text{ m}^3$ (Vapo Pelletti), jolloin lämpökeskuksen yhteen siiloon mahtuu noin 333 tonnia pellettejä alla olevan laskukaavan mukaan:

$$\text{pellettimäärä siilossa} = \frac{\text{siilon tilavuus}}{\text{pellettitonnin tilavuus}} = \frac{500 \text{ m}^3}{1,5 \frac{\text{m}^3}{\text{t}}} = 333,3 \text{ t}$$

Täten, jotta yksi 500 m^3 siilo täyttyisi kokonaan, tulisi pellettejä kuljettaa yli 8 kuorma-autollista:

$$\begin{aligned} \text{pellettikuormien määrä siilon täyttämiseen} &= \frac{\text{pellettimäärä siilossa}}{\text{yhden kuorman pellettimäärä}} \\ &= \frac{333,3 \text{ t}}{40 \text{ t}} = 8,3 \end{aligned}$$

Siilot eivät kuitenkaan voi olla aivan täynnä, sillä pelletit eivät välttämättä purkutilanteessa leviä siiloon tasaisesti, vaan ne voivat kasaantua keskelle keoksi, jolloin siilo täyttyy nopeammin korkeussuunnassa, vaikka tilaa olisikin sivuilla. On myös otettava huomioon, että jos siilo ylitäyttyy, voi katto irrota ja aiheuttaa huoltokustannuksia ja ongelmia pellettien käytölle esimerkiksi kosteusriskin takia. Siilon tilavuutta on siis vähennettävä hieman totuudenmukaisen tuloksen saamiseksi. Tällä pystytään välttämään myös mahdolliset pienet mitoitusvirheet kuorman purussa ja aikataulutuksessa, varsinkin silloin kun kuljetukset ovat etuajassa ja siilo ei ole vielä ehtinyt tyhjentyä riittämiin.

$$\text{pellettimäärä siilossa} = \frac{\text{siilon todellinen tilavuus}}{\text{pellettitonin tilavuus}} = \frac{450 \text{ m}^3}{1,5 \frac{\text{m}^3}{\text{t}}} = 300 \text{ t}$$

Tästä seuraa, että täysiä pellettikuorma-autollisia tarvitaan yhden siilon täyttämiseen:

$$\frac{300 \text{ t}}{40 \text{ t}} = 7,5 \text{ kuorma} - \text{autoa}$$

Lämpökeskuksessa on kaksi siiloa, jolloin molempien täyttämiseen vaaditaan kaksinkertainen määrä, 15 kuorma-autollista pellettejä kokonaisuudessaan. Käytännössä siilojen ei ole tarkoitus tyhjentyä kokonaan missään vaiheessa, mutta ensimmäinen täyttö lämpökeskuksen toiminnan alussa vaatii tämän edellä mainitun määrän kuormia.

Yhden täyden autollisen purku kestää noin puolitoista tuntia (Liite 1), joten useamman automäärän yhteensovittaminen purkupaikan kapasiteetin kanssa on haastavaa varsinkin pellettilämpökeskuksen toiminnan aloitusvaiheessa, kun molemmat siilot on saatava täyteen. Myös huippukäytön aikana, eli silloin kun lämpökeskus toimii täydellä teholla, kuljetuksia joudutaan tekemään paljon, jolloin aikataulus kuljetuksissa on erittäin tärkeää.

Puupellettien tehollinen lämpöarvo on noin 4,75 MWh/tonni (Vapo Pelletti), ja lämpökeskuksen yhteen siiloon mahtuu pellettejä yllä olevien laskujen mukaan noin 300 tonnia, jolloin:

$$\text{täyden siilon pellettien lämpöarvo} = 4,75 \frac{\text{MWh}}{\text{t}} \times 300 \text{ t} = 1425 \text{ MWh}$$

Tätä arvoa tarvitaan myöhemmin, kun selvitetään lämpökeskuksen eri skenaarioiden lämmöntuotanto vuorokaudessa ja kauanko siilojen pelletit riittävät kyseisellä tuotantomäärällä.

Pelletit tilataan pellettitehtaalta perille kuljetettuna, joten pellettitehtaan vastuulla on järjestää sopiva kuljetuskalusto ja kuljetukset lämpökeskukselle. Tämän työn oletuksena on, että kuljetusautot ovat aina täynnä, eli jokaisessa lastissa on noin 40 tonnia pellettejä. Jos koetaan tarpeelliseksi pienempien määrien kuljettaminen, se mainitaan työssä

erikseen. Kuvassa 7 on esimerkki pellettien kuljetusautosta. Auto on yleensä pneumaattinen säiliöauto, josta pelletit puhalletaan siiloihin paineilman avulla.



Kuva 7: Pellettien kuljetusauto (Korsu Oy).

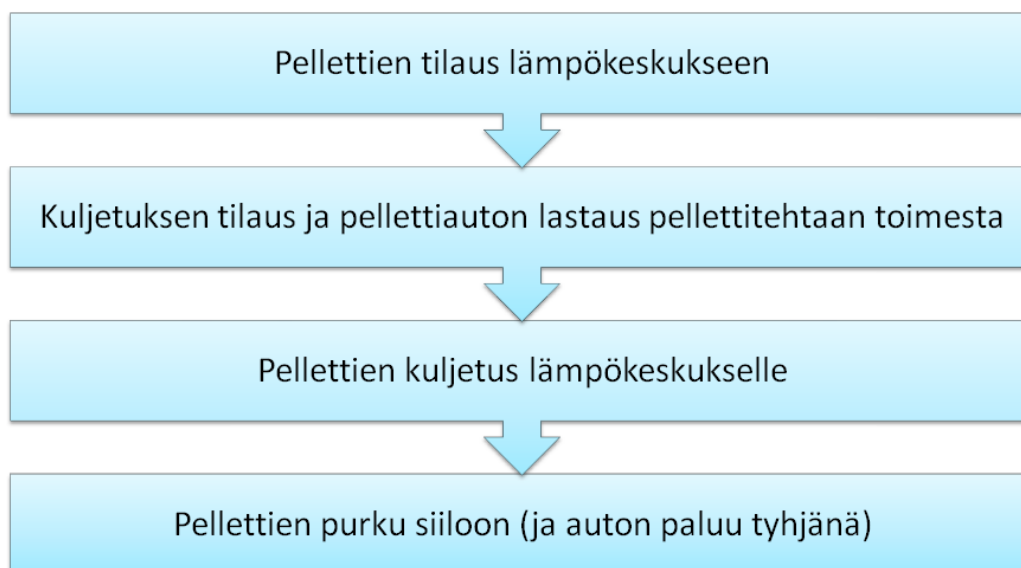
Aikaisemmin luvussa 2.5. mainittiin pellettien purkuun liittyviä vaatimuksia: pellettien on oltava kestäviä, jotta ne voidaan huoletta lastata kuorma-autoon ja purkaa siiloon. Pellettilämpökeskuksella on purkulaitteisto, joka on suunniteltu nimenomaan pellettien purkuun ja ei täten aiheuta laitteiston rikkoutumisriskiä. Toisaalta pelletit voivat olla jo ennen purkua huonolaatuisia ja sisältää esimerkiksi runsaasti sahanpurua. Tämä pyritään välttämään jatkuvilla laadunvarmistuksilla jo pellettitehtaalla: pellettitehtaalla tehdään näytteenotto kaksi kertaa yhden työvuoron aikana ja lisäksi pellettien kuivauksen yhteydessä varmistetaan, että pelletit ovat riittävän kuivia, mutta eivät liian kuivia. Vapo Oy käyttää pientä määrää tärkkelystä pellettien valmistuksessa, jotta pelletit pysyisivät paremmin kokonaisina eivätkä murenisi ja aiheuttaisi näin mahdollisia toimintaongelmia lämpökeskuksen laitteille. (Liite 1.)

Luvussa 2.5. käsiteltiin myös pellettien purkupaikan vaatimuksia, ja erityisesti on varmistettava, että kuljetusautojen liikkuminen lämpökeskuksella on sujuvaa ja purkupaikka on toimiva ja vaatimustenmukainen. Kuvassa 8 on esimerkki siitä, minkälainen tila pelletinpurkuun tarvitaan. Tilaaja on vastuussa siitä, että siilot ja niiden purkuvälineistö on oikeanlainen ja toimiva, kun taas toimittaja on vastuussa pellettien laadusta ja kuljetuskaluston oikeanlaisuudesta (Vapo 2011b).



Kuva 8: Pellettien purku siiloihin (Korsu Oy).

Kuvassa 9 on kuvattu pellettien kuljetusten eteneminen kokonaisuudessaan, pellettien tilauksesta aina lämpökeskuksen siiloihin purkuun asti. Lämpökeskuksen polttoainevas-
taava tekee viikoittain tilauksen pellettitehtaalle. Tilauksen määrä vaihtelee tarpeen ja
etukäteen tehdyn vuosisopimuksen mukaan. Tilauksen saatuaan pellettitehdas tilaa kul-
jetusauton ja auto lastataan pellettitehtaalla. Kuljetusten tilaaminen tehdään lämpökes-
kuksen kanssa etukäteen suunnitellun aikataulun mukaisesti, ja aikataulu riippuu tilatus-
ta pellettimäärästä jokaista viikkoa kohden. Pelletit kuljetetaan säiliöautolla lämpökes-
kukselle, puretaan siiloon ja kuljetusauto lähtee tyhjänä takaisin esimerkiksi pellettiteh-
taalle hakemaan uutta kuormaa tai muihin kuljetustehtäviin.



Kuva 9: Pellettikuljetusten eteneminen.

3.3. Pellettilämpökeskuksen yleiset haasteet ja riskit

Pellettilämpökeskuksen toimintaan liittyvät logistiset riskit käytiin läpi Tampereen Energiantuotanto Oy:n kanssa (Liite 1) ja tuloksena huomattiin suurimpien riskien liittyvän pellettien määrän arviointiin eli ennustamiseen. Pellettitilaukset on tehtävä jo ke-sällä, jotta valmistaja ehtii hankkia riittävän määrän sahanpurua talven huippukäyttö-ajalle. Tällöin sovitaan perustoimitusmäärä koko vuodelle, jota voidaan tarvittaessa suu- rentaa lisäoptiolla. Riskinä onkin, että toimitusmäärä on arvioitu väärin, joko liian pie- neksi tai liian suureksi, jolloin lämpökeskuksen toiminta voi hankaloitua ja kustannuk- set nousta. Pelletintoimittajalla ei ole velvollisuutta toimittaa pellettejä yli sovitun mää- rän, ja jos pellettejä tilaankin sovittua vähemmän, ei toimittajan tarvitse pystyä varas- toimaan ylimääräisiä pellettejä. Tämä voi olla käytännössä mahdotontakin rajallisten varastotilojen takia. Toisaalta lämpökeskuksellakaan ei ole ylimääräistä varastotilaa sii- lojen lisäksi, jolloin varastointi voi muodostua suureksikin ongelmaksi.

Pellettitoimittajan kanssa sovitaan myös vuorokautisesta maksimitoimitusmäärästä ja viikkotilaukset tehdään aina seitsemäksi päiväksi eteenpäin. Viikoittaiset tilausmäärät on helpompi arvioida kuin koko vuoden pellettimäärät, mutta viikkotilauksissa on otet- tava huomioon koko vuodelle tehty perustoimitusmäärä, jotta tätä ei ylitetä tai aliteta huomattavasti. Jos pelletin käyttö nousee paljon arvioidusta, joudutaan pellettejä tilaa- maan muualta, jos saatavuus ei muutoin ole varmaa. Tästä syntyy luonnollisesti lisäkus- tannuksia ja ylimääräistä aikataulujen suunnittelua niin pellettitehtaalte kuin lämpökes- kuksellekin.

Pellettikuljetusten aikatauluttamisessa onkin oma haasteensa, sillä lämpökeskuksella on vain 2 siiloa, ja pelletin purku yhteen siiloon kestää 1,5 tuntia. Lisäksi vuorokauden ai- kana pidetään 12 tunnin kuljetustauko yöllä, jotta lähistön asukkaat eivät kärsisi kulje-

tuksista ja purkamisesta mahdollisesti aiheutuvista meluhaitoista. Purkupaikalla voi siis olla yhtä aikaa korkeintaan kaksi autoa, jotta molemmat pääsevät heti purkamaan pellettilastinsa siiloon. Tavoitteena on, että kuljetukset pystytään järjestämään niin, että vain toista siiloa täytetään kerralla. Riskinä on, että useampi pellettikuljetusauto saapuu paikalle samaan (tai lähes samaan) aikaan, jolloin joidenkin autojen on odotettava vuoroaan. Lämpökeskuksen toiminnalle tämä on riski silloin, jos autot eivät jääkään odottamaan vuoroaan, vaan joutuvat esimerkiksi aikataulusyistä lähtemään ennen pellettien purkua. Tämä on myös kustannusriski, sillä toimittaja voi vaatia korvauksia jonotukseen käytetystä ajasta. Siilot eivät myöskään saa olla täynnä, kun pellettejä puretaan, jotta koko autolastillinen mahtuu siiloihin kerralla. Yhden päivän aikana voidaan tehdä useampi pellettikuljetus lämpökeskukselle samalta pellettitehtaalta.

Aikataulutussyönteiden lisäksi riskinä on, että pellettikuljetukset myöhästyvät tai jäävät kokonaan tulematta esimerkiksi onnettomuuden tai huonon sääolosuhteen takia. Tällöin pellettilämpökeskuksen on pystyttävä korvaamaan pellettipolttoaine muilla tavoin, jos pelletit eivät riitä seuraavaan toimitukseen asti. Liukkaat tiet ja sankat lumimyrskyt voivat aiheuttaa viivästyksiä talviaikaan, jolloin aikataulut voivat muuttua ja pitkittyä. Lämpökeskuksen on pystyttävä varautumaan näihin viivästyksiin.

Siilojen on teoriassa tarkoitus olla aina lähes täynnä. Tämä on kuitenkin hankalaa varsinkin öisin, kun kuljetuksia ei tehdä. Purkutauko pidetään, jotta purkamisesta ei koituisi öisiä meluhaittoja lähistön asukkaille. Täten yön aikana kulunut pellettimäärä tulisi pystyä toimittamaan heti aamulla, jotta siilot olisivat taas täynnä koko päivän. Kun lämpökeskus toimii suurella teholla, voi siilojen täyttöaste laskea ja tämä voi muodostua riskiksi niin kuljetusten suunnittelulle kuin lämpökeskuksen toimintavarmuudellekin.

Lämpökeskuksen tekniset riskit liittyvät koneiston toimintaan ja pellettien laatuun. Laitteistoon voi tulla yllättäen jokin vika: jokin laitteiston osa voi esimerkiksi tukkeutua tai kattila voi hajota. Näihin tilanteisiin on varauduttava ja mahdolliset korjaustoimenpiteet on tehtävä mahdollisimman nopeasti. Myös polttoaineen, eli pelletin, laadulla voi olla merkitystä, sillä huonolaatuinen tai vaihtelevalaatuinen pelletti voi aiheuttaa lämpökeskuksen laitteistolle toimintaongelmia. Vaikka näitä laadunvaihteluja on pyritty vähentämään standardeilla (ks. luku 2.2.), on laatuvarheet silti mahdollisia. Erityisesti talviaikaan, kun lämmönkulutus on suurimmillaan, on erittäin tärkeää, että näihin häiriötilanteisiin reagoidaan nopeasti ja oikealla tavalla.

Luvuissa 3.4. ja 3.5. on kuvailtu kaksi erilaista skenaariota, perusskenaario ja maksimiskenaario (Case 1 ja Case 2), joiden on tarkoitus olla mahdollisimman kattavia esimerkkejä pellettilämpökeskuksen toiminnasta. Perusskenaariolle on valittu normaalitarvetta vastaava 35 MW:n polttoainetehto, joka on yleisin talvikauden teho tämän tutkimuksen pellettilämpökeskuksessa ja lämpökeskus on suunniteltu toimimaan korkeintaan tällä 35 MW:n teholla. Maksimiskenaarion 100 MW:n tehoa ei toistaiseksi koeta tarpeelliseksi tehoksi, mutta se voi tulevaisuudessa uusiutuvan energiankäytön lisääntyessä

olla ajankohtainen. Näillä kahdella skenaariolla pyritään selvittämään perusteellisesti Tampereen pellettilämpökeskuksen pellettien kuljetuslogistiset vaatimukset ja luvussa 4 logistiset riskit, sekä keinot, joilla nämä riskit voidaan välttää.

3.4. Case 1: nykyinen tarve 35 MW

Kun pellettilämpökeskuksen polttoaineteho on ensimmäisen skenaarion mukaiset 35 MW, voidaan laskea kuinka paljon laitos tarvitsee polttoaine-energiaa seuraavanlaisesti:

$$\begin{aligned} & \text{lämpökeskuksen vuorokausittainen polttoaine – energian tarve} \\ & = 35 \text{ MW} \times 24 \text{ h} = 840 \text{ MWh} \end{aligned}$$

Täten pellettejä tarvitaan vuorokaudessa niin paljon, että tuo 840 MWh:n tarve tulee täytettyä. Kun yhden täyden siilon pellettien lämpöarvo on 1425 MWh (ks. luku 3.2.), riittää se yli puoleksitoista vuorokaudeksi:

$$\begin{aligned} & \text{yhden siilon pellettien riittäisyys} \\ & = \frac{\text{täyden siilon pellettien lämpöarvo}}{\text{lämpökeskuksen vuorokausittainen polttoaine – energian tarve}} \\ & = \frac{1425 \text{ MWh}}{840 \text{ MWh/vrk}} = 1,7 \text{ vrk} \end{aligned}$$

Lämpökeskuksella on kaksi siiloa, joten näiden molempien ollessa käytössä lämpökeskuksella on kerrallaan pellettejä yli kolmen vuorokauden tarpeisiin. On kuitenkin huolehdittava siitä, että siiloja ei saa päästää täysin tyhjiksi ennen seuraavaa täyttöä, sillä pellettien purku kestää vähintään puolitoista tuntia kerrallaan, eikä lämpökeskuksella ole varaa seisokkeihin kesken lämmönjakelun. Täten pellettikuljetusten ja -purun on oltava jatkuvaa sellaisella aikataulutuksella, että siilot ovat riittävän täynnä jatkuvasti.

Jos yhden siilon pelletit kuluvat 1,7 vuorokaudessa, eli noin 41 tunnissa, voidaan laskea kuinka monta tonnia pellettejä kuluu tunnissa seuraavanlaisesti:

$$\text{pellettitarve} = \frac{\text{pellettimäärä siilossa}}{41 \text{ h}} = \frac{300 \text{ t}}{41 \text{ h}} = 7,4 \frac{\text{t}}{\text{h}}$$

Täten, kun yhden pellettikuorma-autollisen suuruus on 40 tonnia, täytyy siilo täyttää sellaisella aikataulutuksella, että siilosta on ehtinyt kulua vähintään 40 tonnia pellettejä. Muutoin koko autolasti ei mahdu siiloon. Siilo voidaan siis täyttää korkeintaan 5,4 tunnin välein ($40 \text{ t} / 7,4 \text{ t/h}$), ja kuten jo aiemmin mainittiin, purku on tarkoitus suorittaa klo 6-18 välillä, jotta ulkopuolisille ei aiheudu meluhaittoja. Täten 12 tunnin aikavälillä voidaan tehdä kaksi pellettitäyttöä molempiin siiloihin. Saman päivän aikana pellettilämpökeskuksella käy siis neljä kuorma-autollista (tarkalleen 4,5 kuorma-autollista), joiden aikataulutus on tehtävä tarkasti turhien kuljetusten ja viivästysten välttämiseksi.

Määrällisesti näiden kuljetusten toteutus ei ole kovinkaan haastavaa, sillä pellettitehtaal-la on käytössään yli 30 kuljetusautoa.

3.5. Case 2: tulevaisuuden tarve 100 MW

Edelliseen 35 MW:n skenaarioon verrattuna 100 MW:n polttoaineteho on noin kolmin-kertainen. Täten pellettien kulutus on huomattavasti suurempi, jolloin myös kuljetuksia on järjestettävä useammin ja aikataulutuksessa on oltava vieläkin tarkempi. Seuraavassa on aluksi selvitetty pellettitarve ja -riittoisuus, jos käytössä olisi samanlaiset kaksi 500 m³ siiloa, kuin 35 MW:n tehollakin. Tämän jälkeen tutkitaan, mikä olisi optimaalinen siilojen koko 100 MW:n teholle.

Lämpökeskuksen vuorokausittainen polttoaine-energian tarve 100 MW:n teholla on:

$$\begin{aligned} & \text{lämpökeskuksen vuorokausittainen polttoaine – energian tarve} \\ & = 100 \text{ MW} \times 24 \text{ h} = 2400 \text{ MWh} \end{aligned}$$

Luvussa 3.2. laskettiin täyden siilon pellettien lämpöarvoksi 1425 MWh, jolloin 100 MW:n teholla siilon pelletit riittävät seuraavanlaisesti:

$$\begin{aligned} & \text{yhden siilon pellettien riittoisuus} \\ & = \frac{\text{täyden siilon pellettien lämpöarvo}}{\text{lämpökeskuksen vuorokausittainen polttoaine – energian tarve}} \\ & = \frac{1425 \text{ MWh}}{2400 \text{ MWh/vrk}} = 0,59 \text{ vrk} \end{aligned}$$

Tämä on noin kolme kertaa lyhyempi aika kuin edellisessä, 35 MW:n skenaariossa. Tunnissa pellettejä kuluu 100 MW:n tarpeella seuraavasti:

$$\text{pellettitarve} = \frac{\text{pellettimäärä siilossa}}{0,59 \text{ vrk}} = \frac{300 \text{ t}}{14,16 \text{ h}} = 21,2 \frac{\text{t}}{\text{h}}$$

Yhteen siiloon täytyy siis kuljettaa 40 tonnin pellettiautollinen alle kahden tunnin vä-lein, jotta siilo pysyisi täysinäisenä. Siilon täysinäisyys on tärkeää erityisesti illalla, kun kuljetukset taukoavat yön ajaksi, ja pellettejä kuluu silti mahdollisesti koko yön ajan suunnilleen samaan tahtiin kuin päivälläkin. Yhden päivän aikana joudutaan siis tarvit-taessa tekemään 6 pellettikuljetusta kumpaankin siiloon, eli yhteensä 12 autokuljetusta lämpökeskukselle. Tämä ei käytännössä ole mahdollista, sillä kuljetusautoja on rajalli-nen määrä ja yön pitkä kuljetustauko aiheuttaisi liian suuren pellettitarpeen heti aamulle, jolloin sitä ei pystytä täyttämään pitkän purkuajan takia. Täten seuraavaksi on selvitet-tävä kuinka paljon pellettejä kuluu kuljetustauon aikana, jotta 100 MW:n teho on toteu-tettavissa realistisilla kuljetusmäärillä.

Yhdessä pellettikuorma-autossa on 40 tonnia pellettejä. Tämän pellettikuorman lämpöarvo voidaan laskea aiemmin ilmoitetun pellettien lämpöarvon, 4,75 MWh/t avulla:

$$\text{pellettikuorman lämpöarvo} = 4,75 \frac{\text{MWh}}{t} \times 40 t = 190 \text{ MWh}$$

Ja kun 100 MW:n teholla lämpökeskus tuottaa 2400 MWh lämpöä vuorokaudessa, riittäisi yhden kuorman pelletit alle kaksi tuntia:

$$\text{yhden pellettikuorman riittäisyys} = \frac{190 \text{ MWh}}{2400 \text{ MWh/vrk}} = 0,079 \text{ vrk} = 1,9 \text{ h}$$

Sama aika menee jo yhden kuormallisen purkuun, joten siilojen koko on optimoitava niin, että vaikka vajaassa kahdessa tunnissa kuluu yhden kuorma-autollisen verran pellettejä, pystytään kuljetukset silti järjestämään realistisesti, myös niin että öisin ei tarvita kuljetuksia. Siilojen on yhteiskooltaan oltava siis sen suuruisia, että ne selviävät yöllä 12 tuntia ilman täyttöä ja seuraavana aamunakin useamman tunnin, jotta kuljetuksilla pystytään kattamaan yön aikana kulunut pellettimäärä.

Aamulla (ja koko päivän aikana) pystytään toimittamaan pellettejä 40 tonnia kerralla, ja tämä riittää vain yöllä lasketuksi 1,9 tunniksi. Toisaalta 100 MW:n teholla siiloja voidaan rakentaa useampia, esimerkiksi kolme, jolloin pellettejä voidaan kuljettaa kaksikin kuormallista yhtä aikaa yhden siilon ollessa se, josta pellettejä käytetään lämmöntuotantoon samalla kun kahta muuta siiloa täytetään. Yön kuljetustauon aikana kuluva pellettimäärä pystytään laskemaan yöllä lasketusta 40 tonnin riittävyydestä:

$$\begin{aligned} &\text{kuljetustauon aikana kuluva pellettimäärä} \\ &= \frac{\text{kuljetustauon pituus}}{\text{yhden pellettikuorman riittäisyys}} \times \text{yhden kuorman suuruus} \\ &= \frac{12 \text{ h}}{1,9 \text{ h}} \times 40 t = 252,6 t \end{aligned}$$

Nykyisillä 300 tonnin siiloilla tämä tarkoittaisi lähes kokonaisen siilon kulumista puolessa vuorokaudessa. Vuorokaudessa pellettejä kuluu noin 505 tonnia, ja tämän määrän kuljettamiseen tarvitaan noin 13 pellettikuorma-autollista (505 t / 40 t). Kuten jo aikaisemmin todettiin, vuorokaudessa tällaisen automäärän aikatauluttaminen on mahdotonta, jos käytössä on vain kaksi siiloa. Jotta pystytään selvittämään tarvittava siilojen koko 100 MW:n teholla, on tutkittava mikä olisi pellettikuljetusten päivittäinen määrä, niin että se olisi vielä toteutettavissa klo 6-18 välillä. Tämän tarkastelutavan avulla saadaan realistisempi käsitys siitä, paljonko pellettejä voidaan käytännössä kuljettaa lämpökeskukselle.

Suuri, 100 MW:n teho on hyvä esimerkki siitä, kuinka paljon kuljetuksia saatetaan tarvita päivän aikana, jos käytössä on kaksi 500 m³ siiloa, ja jo 12 autokuljetuksen toteuttaminen osoittautui vaikeaksi. Kun kuljetuksille on sovittu 12 tunnin aika joka vuoro-

kausi, ja jokaisen täyden pellettiauton purku kestää 1,5 tuntia, voidaan yhteen siiloon tehdä maksimissaan 8 kuljetusta päivän aikana (12 h / 1,5 h). Käytännössä 1,5 tunnin lisäksi pellettikuljetuksissa menee aikaa muun muassa ajamiseen purkupaikalle ja poistumiseen purkupaikalta. Täten 12 tunnin aikana yhteen siiloon voidaan käytännössä toimittaa noin 7 kuorma-autollista pellettejä, kun otetaan huomioon mahdolliset aikatauluviivästyksset purkujen välillä.

Seitsemän kuorma-autoa sisältää yhteensä 280 tonnia pellettejä (7 x 40 t). Yhden pellettitonin lämpöarvon ollessa 4,75 MWh on 280 tonnin pellettien lämpöarvo 1330 MWh (4,75 MWh/t x 280 t). Täten 7 pellettiauton vuorokausimäärällä pellettilämpökeskuksen lämmöntuotanto voi olla 1330 MWh vuorokaudessa, eli teholtaan n. 55 MW. Tämä on noin puolet vaaditusta case 2:n 100 MW:n tehosta. Seitsemän kuorma-autokuljetusta on optimaalisin tilanne kuljetusten ja lämpökeskuksen sujuvan toiminnan kannalta, sillä tällä vauhdilla siilojen täyttäminen sujuu helpoiten, eikä esimerkiksi useamman siilon täyttäminen samanaikaisesti ole vaikeuttamassa lämpökeskuksen toimintaa. Myöhemmin luvussa 3.7.3. on laskettu, paljonko kuljetuksia on kaiken kaikkiaan mahdollista tehdä vuorokaudessa, poikkeustilanteen niin vaatiessa.

Aiemmin laskettiin, että pellettejä kuluu 505 tonnia vuorokaudessa, kun lämpökeskus toimii 100 MW:n teholla. Tämän määrän kuljettamiseen tarvitaan 13 kuorma-autoa, joten 7 kuorma-auton päivätahdilla 505 tonnia saataisiin kuljetettua kahdessa päivässä lämpökeskukselle. Täten lämpökeskus kuluttaa vuorokaudessa sen verran pellettejä, mitä sinne pystytään toimittamaan kahdessa vuorokaudessa. Kulutus on siis noin kaksi kertaa nopeampaa kuin saatavuus. Yön aikana pellettejä kuluu yli 250 tonnia ja seuraavan päivän kuljetuksilla pystytään kattamaan pelletit vain hieman yli tämän kulutuksen (280 tonnia). Siiloja on siis oltava enemmän kuin kaksi, jotta kuljetuksia pystytään lisäämään ilman, että lämpökeskuksen toiminta häiriintyisi niistä. Tarvittavien siilojen määriä ja kokoa tutkitaan tarkemmin luvussa 3.7.2.

3.6. Case-tulosten vertailu

Tuloksista on helppo huomata, että pellettitarpeen kasvu vaikuttaa kaikkiin tuloksiin lähes suoraan verrannollisesti: 100 MW:n skenaario on 2,85-kertainen verrattuna 35 MW:n skenaarioon, samalla yhden siilon pellettien riittoisuus on 2,88 kertaa pienempi kuin 35 MW:n skenaariossa ja pellettitarve tunnissa on 2,81-kertainen. Täten määrät eivät muutu täysin lineaarisesti eri tehotarpeilla, mutta ovat riittävän lähellä lineaarisuutta tähän tutkimukseen, sillä pellettilämpökeskuksen toiminta ei ole riippuvainen esimerkiksi pienistä pellettimäärien muutoksista. Osa lineaarisuuden puutteesta saattaa johtua myös tulosten pyöristämisestä.

Lineaarinen tulos voidaan varmentaa herkkyysanalyysin avulla ottamalla esimerkkiskenaarioiksi vielä 8 MW:n tarve, joka on minimiteho, jolla lämpökeskus voi olla käynnissä, sekä 70 MW:n teho, joka on perustarpeen ja maksimitarpeen välillä. Taulukossa 3 on

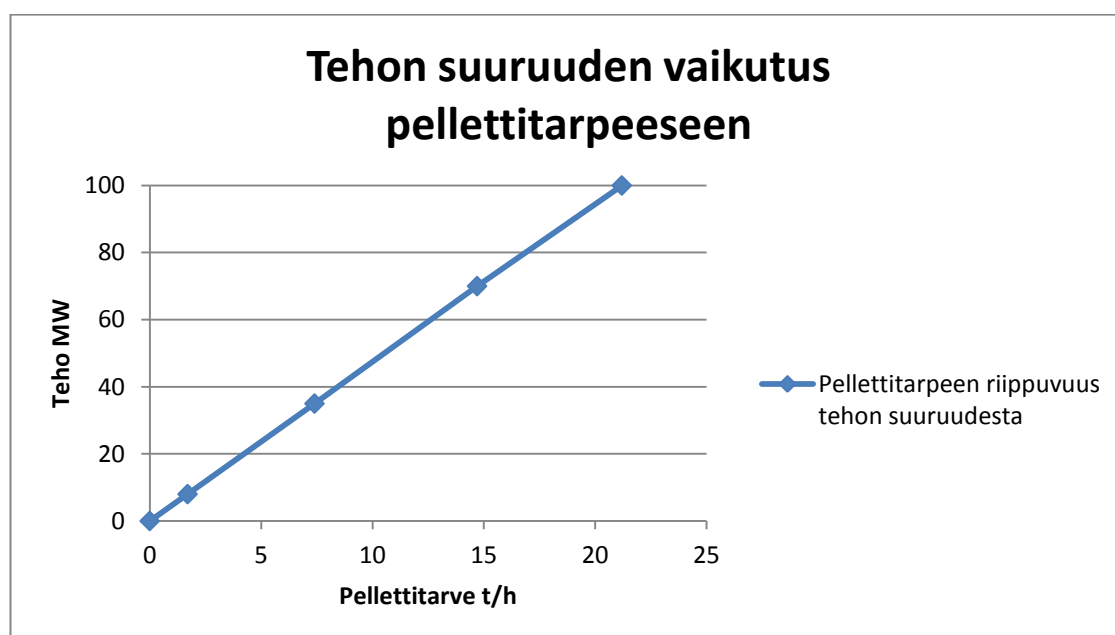
listattuna kahden pääskenaarion, 35 ja 100 MW:n laskutulokset sekä vertailukohteiksi valittujen 8 MW:n ja 70 MW:n tulokset.

Taulukko 3: Pellettilämpökeskuksen pellettimäärät ja lämmöntuotanto eri lämpötehoilla

Skenaariot	Vertailu- arvo 1	Case 1	Vertailu- arvo 2	Case 2
Lämpökeskuk- sen teho (MW)	8	35	70	100
vuorokausittainen lämmöntuotanto (MWh)	192	840	1680	2400
yhden siilon pellettien riittäisyys (vrk)	7,4	1,7	0,85	0,59
pellettitarve (t/h)	1,7	7,4	14,7	21,2

Taulukon 3 tuloksista voidaan päätellä, että tehon noustessa myös kaikki muut siihen liittyvät arvot, kuten pellettien tarve sekä siilon pellettien riittäisyys nousevat ja laskevat lineaarisesti tai lähes lineaarisesti. Näistä tuloksista voidaan muodostaa lähes lineaarisesti nouseva kaavio pellettien riippuvuudelle tehosta (ks. kaavio 2).

Kaavio 2: Pellettilämpökeskuksen tehon suuruuden vaikutus pellettitarpeeseen.



Täten voidaan todeta, että lämpökeskuksen teho on suoraan verrannollinen pellettitarpeeseen: mitä suurempi teho, sitä suurempi määrä pellettejä tarvitaan. Pellettien määrä pystytään arvioimaan siis suoraan tehon suuruudesta. Tämä ei kuitenkaan ratkaise pellettien kuljetuslogistiikkaa, sillä vaikka tehon kasvaessa pellettikuljetuksia on tehtävä useammin, ei niiden aikataulutusta pystytä tekemään yhtä lineaarisesti tehon jatkuvan vaihtelun takia. Lisäksi kuljetuksiin vaikuttaa myös muun muassa siilojen täyttämiseen kuluva aika.

3.7. Kuljetus- ja varastointiratkaisut

Kuljetusratkaisuja mietittäessä on otettava huomioon kuinka useasti päivän aikana kuljetuksia täytyy tehdä, kuinka nopeasti purku tapahtuu ja kuinka nopeasti siilo tyhjenee. Pellettikuljetusten määrä riippuu lämpökeskuksen tehosta, joka saattaa vuorokaudenkin sisällä vaihdella. Yllä olevien skenaarioiden avulla pyrittiin selvittämään nykyisen sekä tulevaisuuden tehon vaatima pellettimäärä. Tarkempaa tehoarviota ei pystytä tekemään vaihtelevien sääolosuhteiden takia. Täten tarkemmat pellettimäärät ja tehot selviävät käytännössä vasta silloin, kun lämpökeskus on toiminnassa, jokaisen päivän mukaan. Epävarmuudesta huolimatta seuraavassa on selvitetty näiden kahden skenaarion, Case 1:n ja Case 2:n pellettien kuljetus- ja varastointiratkaisut. Moni asia vaikuttaa kuljetukseen ja niiden suunnitteluun, ja nämä on selvitetty myöhemmin luvussa 3.8. Näiden kuljetusratkaisujen avulla pyritään luvussa 4.3. kehittämään yleisempi toimintamalli, jota voidaan hyödyntää tulevissakin lämpökeskusprojekteissa.

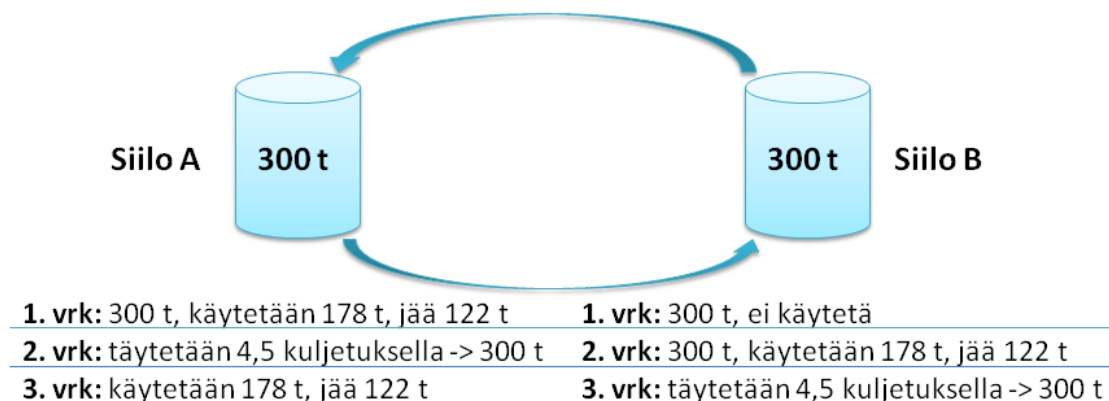
3.7.1. Case 1:n kuljetus- ja varastointiratkaisu

Nyt rakenteilla olevalle 35 MW:n pellettilämpökeskukselle ei ole tarkoitus rakennuttaa lisävarastotiloja, vaan kaikki pelletit pyritään purkamaan suoraan kahteen siiloon. Alueella ei ole riittäviä tiloja varaston rakentamiseen kaupunkisijaintinsa takia ja siilojen koetaan olevan riittävän suuria ainakin nykyiseen tarpeeseen nähden. Täten varastointi on toistaiseksi toimittajan, eli pellettitehtaan vastuulla.

Kuten luvun 3.6. taulukosta 3 nähdään, 35 MW:n teholla pellettejä kuluu 7,4 tonnia tunnissa, mikä tarkoittaa, että 40 tonnin pellettikuljetus voidaan purkaa siiloon 5,4 tunnin välein. Öisin, kun pellettikuljetuksia ei todennäköisesti tulla tekemään, paitsi jos tämä on täysin välttämätöntä, siilot ovat noin 12 tuntia ilman lisäpellettejä, mutta tässä ajassa kuluu korkeintaan 89 tonnia pellettejä (7,4 t/h x 12 h). Yleensä pellettejä kuluu vähemmänkin, sillä lämmöntarve on pienempi öisin, ja tällöin lämpökeskuksen tehoa lasketaan. Toisaalta pellettejä voi kulua öisin myös päivää enemmän, jos sähkön hinta on korkeampi tai jos pakkasta on huomattavasti enemmän kuin päivällä. Täten, jos siilot on illalla täytetty pelleteillä, pitäisi niiden riittää (yhteensä) lähes neljäkin vuorokautta ilman täydennyksiä. Jos yhtä siiloa käytetään kerrallaan, voi toinen siilo olla vielä kokonaan täynnä aamulla, 12 tunnin jälkeen edellisestä täytöstä.

Päivän ensimmäinen pellettikuljetus on silti hyvä ajoittaa heti aamuun, jotta pellettien taso siiloissa ei pääse laskemaan huomattavasti. Molempiin siiloihin voidaan tehdä pellettikuljetukset yhtä aikaa, jos tälle on suuri tarve, mutta normaalisti vain yhtä siiloa täytetään kerralla. Aamun ensimmäisiä kuljetuksia voidaan siis tehdä kaksi, yksi molempiin siiloihin tai kaksi pellettitoimitusta samaan siiloon noin 1,5 tunnin välein. Tämä on järkevintä silloin, kun yön aikana on käytetty vain toista siiloa lämmitykseen, jolloin toinen siiloista voi olla vielä täynnä. Seuraava pellettitoimitus voidaan ajoittaa noin vii-

den ja puolen tunnin päähän päivän ensimmäisestä kuljetuksesta. Seuraavaksi kuvassa 10 on esitetty yksi vaihtoehto pellettikuljetuksille ja siilojen käytölle.



Kuva 10: Pellettien täyttövauhti ja -määrät 35 MW:n tehon lämpökeskuksella.

Kuvan 10 lähtötilanteessa molemmat siilot ovat täynnä. Aluksi siilosta A käytetään koko vuorokauden ajan pellettejä, maksimissaan siis 178 tonnia. Seuraavana päivänä siilo B on käytössä, ja samalla siiloon A puretaan 178 tonnia pellettejä. Tämä vastaa noin 4,5 kuljetusta, joten joko yksi autollinen on puolilleen täynnä tai kuljetukset ajoitetaan esimerkiksi niin, että yhtenä päivänä tehdään 4 kuljetusta, ja jonakin muuna päivänä 5, jotta puolikkaan autollisen, 20 tonnin vaje saadaan täytettyä.

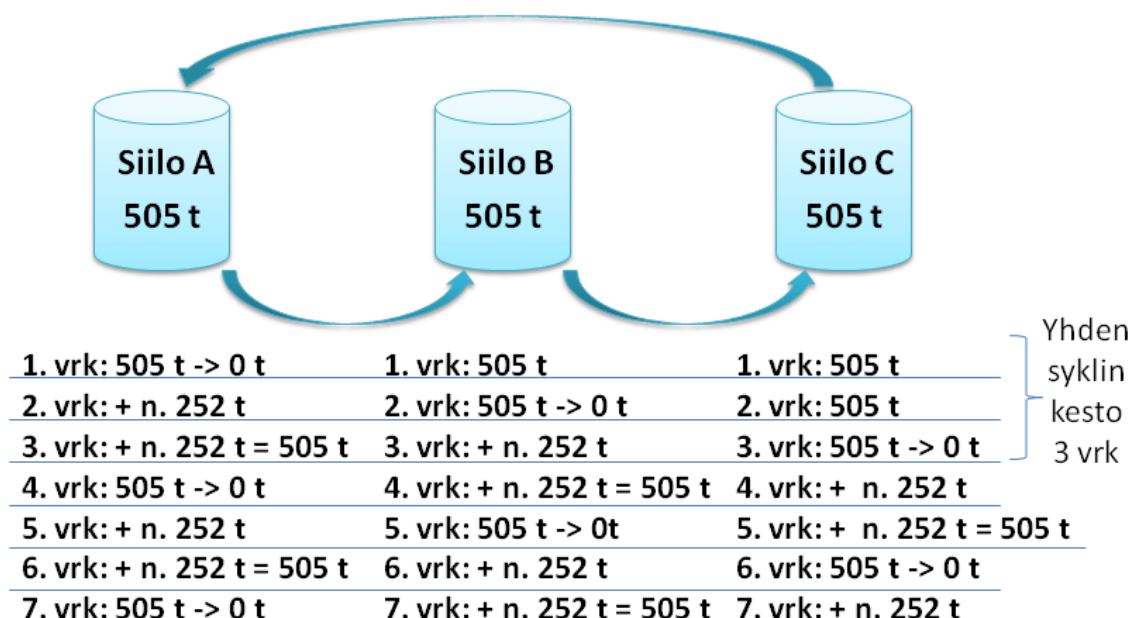
Kuvan 10 ratkaisuvaihtoehdossa siiloja käytetään ja täytetään siis vuoropäivinä. Kuljetukset määräytyvät sen mukaan, paljonko pellettejä kuluu vuorokaudessa, täten jokaisena päivänä ei välttämättä edes tarvita 4-5 kuljetusta. Yhden vuorokauden jälkeen yhdessä siilossa on silti vielä noin 120 tonnia jäljellä, joten tämäkin pellettimäärä riittää vielä noin 16 tunniksi. Yllä olevalla päivittäisellä kuljetusmäärällä pelletit eivät ehdi kulua loppuun missään välissä. Täten siilot toimivat osaltaan myös varmuusvarastoina sellaisina aikoina, kun kuljetukset viivästyvät huomattavasti tai niitä ei yksinkertaisesti pystytä toteuttamaan.

3.7.2. Case 2:n kuljetus- ja varastointiratkaisu

Kuten luvussa 3.5. laskettiin, tehon ollessa 100 MW vuorokaudessa kuluu 505 tonnia pellettejä. Täten siilojen koko ja määrä on oltava sellainen, että niin kuljetukset kuin pelletin kulutuskin onnistuu ongelmitta. Lämpökeskuksella on täten oltava esimerkiksi kolme siiloa, joihin jokaiseen mahtuu vähintään 505 tonnia pellettejä. Jokaisen siilon on siis oltava kooltaan vähintään 760 m^3 ($505 \text{ t} \times 1,5 \text{ m}^3/\text{t}$). Kolme siiloa on järkevä määrä siksi, että pellettejä kuluu kaksi kertaa nopeammin, kuin mitä niitä pystytään kuljettamaan, jos käytössä on 7 kuljetusta päivässä. Tämä ei riitä lämpökeskuksen toiminnan takaamiseen, joten kuljetuksia on lisättävä. Koska käytössä on kolme siiloa, joista yksi on aina kerrallaan vuorokauden käytössä, voidaan kahteen muuhun tehdä sinä aikana kuljetuksia. Täten kuljetukset pystytään kaksinkertaistamaan ilman, että käytössä ole-

vaan siiloon täytyy purkaa pellettejä. Tämä ei onnistuisi, jos lämpökeskuksella olisi vain kaksi siiloa kuljetusten suuren määrän takia.

Kuvassa 11 on havainnollistettu siilojen täyttö- ja tyhjenemisprosessia: Lähtötilanteessa kaikissa siiloissa on 505 tonnia pellettejä. Tämä ei välttämättä käytännössä ole mahdollista muulloin kuin lämpökeskuksen toiminnan aloituspäivänä, tai silloin kun lämpökeskus on toiminut pienemmällä teholla pidemmän aikaa, mutta prosessin havainnollisuuden vuoksi tämä on valittu aloitusoletukseksi. Siilo A kuluu tyhjäksi noin yhdessä vuorokaudessa, ja kun sitä täytetään, siilo B otetaan käyttöön ja se tyhjenee vuorokaudessa. Kolmas siilo (C) otetaan seuraavaksi, kahden vuorokauden jälkeen, käyttöön, jona aikana siilo A saadaan taas kokonaan täyteen, ja siiloa B voidaan alkaa täyttää. Näin siiloja voidaan täyttää yhtä tai kahta kerrallaan, niin että yksi tyhjenee kokonaan, jonka jälkeen se täytetään kahden vuorokauden aikana, kun jompikumpi muista siiloista on käytössä. Kolmella siilolla tällainen sykli kestää 3 vuorokautta, jona aikana kaikki siilot kuluvat kertaalleen tyhjiksi ja jona aikana 1,5 siiloa on ehditty uudelleen täyttää pelleteillä.



Kuva 11: Siilojen käyttäminen ja täyttö lämpökeskuksen toimiessa 100 MW:n teholla.

Vain yksi siilo on kerrallaan kokonaan täynnä ja yhden vuorokauden aikana yhteen siiloon kuljetetaan noin 252 tonnia pellettejä, jotta se ehditään saada täyteen kahdessa vuorokaudessa. Täten pellettejä kuljetetaan noin 505 tonnia vuorokaudessa, noin 252 tonnia kahteen siiloon, mikä tarkoittaa 12-13 autoa yhteensä. Näiden kuljetusten aikatauluttaminen ei vielä ole haastavaa, sillä kuten aikaisemmin todettiin, 7 kuljetusta yhteen siiloon klo 6-18 välillä on vielä täysin mahdollista. Kun käytössä on kolme siiloa, ei kuljetuksissa ja purkamisessa tarvitse huolehtia siitä, että jokin siiloista täytyisi ottaa käyttöön kesken päivän. Tämä aiheuttaisi sen, että kuljetukset tulisi aikatauluttaa todella tarkasti ottaen huomioon myös se, mihin siiloon kuuluu mikäkin pellettilasti purkaa.

Käytännössä siilojen on hyvä olla isompia tai niitä tulisi olla useampia, jotta yksi voisi toimia varmuusvarastona, sillä on varauduttava kuljetusten viivästymisiin ja pelletin saatavuuden epävarmuuteen. On myös muistettava luvun 3.2. huomio siitä, että siiloja ei voida täyttää aivan täyteen, sillä pelletit eivät välttämättä asetu sinne tasaisesti. Varmuusvaraston olemassaolo on välttämätöntä, erityisesti jos pellettitoimituksia ei pystytä tekemään yli vuorokauteen. Varaston ei tarvitse välttämättä olla yhtä iso muiden siilojen kanssa, mutta sen koko on arvioitava tarpeen mukaan. Edellä lasketut arvot ovat siis tarkkoja pellettimääriä, joiden toteuttaminen käytännössä ei välttämättä onnistu tonnin tarkkuudella pellettikuljetusten ollessa aina samankokoisia (40 t).

Tulevaisuudessa pellettilämpökeskusten määrä Suomessa saattaa nousta huomattavasti, samalla kun uusiutuvan energian tarve kasvaa. Tällöin myös lämpökeskusten yhteinen teho voi olla moninkertainen verrattuna esimerkiksi Case 2:n 100 MW:iin. Tässä tilanteessa usean lämpökeskuksen yhteinen varmuusvarasto voi olla järkevä valinta, kun lämpökeskukset ovat lähellä toisiaan. Näin pystytään jakamaan kustannuksia ja varmistamaan pellettien luotettavampi, jatkuva saatavuus. Jos esimerkiksi tämän tutkimuksen 35 MW:n teholla toimivaa lämpökeskusta pystytään modifioimaan niin, että sen teho kasvaa moninkertaiseksi, on useampien siilojen rakentaminen järkevä vaihtoehto. Näin ei olla myöskään jatkuvasti riippuvaisia pellettikuljetuksista ja purkamiseen kuluvasta ajasta, vaan varmuusvarastona toimiva siilo voidaan ottaa käyttöön heti tarvittaessa.

3.7.3. Kuljetustiheyden vaikutukset tehon suuruuteen ja siilojen minimikoon määrittäminen

100 MW:n teholla lämpökeskuksen pellettisiiloja tulee täyttää huomattavasti useammin kuin 35 MW:n tarpeella. Tämä saattaa olla ongelmallista aikataulutuksen suhteen, varsinkin jos öisin ei suoriteta kuljetuksia. Öisen kuljetustauon kesto on 12 tuntia, jonka aikana 100 MW:n teholla pellettejä voi kulua lähes kokonainen siilollinen, jos käytössä ovat vain nuo samankokoiset kaksi 500 m³ siiloa, kuin 35 MW:n tehollakin.

Käytännössä näin suuren pellettimäärän tarve vuorokauden aikana on melko harvinaista. Jos kuitenkin teho pysyy 100 MW:ssa kaksikin vuorokautta, voi kuljetusten järjestäminen olla jo mahdotonta siinä määrin, että siiloja ei ehditä täyttää kokonaan. Siilot saadaan kuitenkin pidettyä riittävän täynnä, jotta ne selviävät lyhyestä huippukäyttöajasta. Tällöin joudutaan kuitenkin muuttamaan muun muassa siilojen täyttöasteelle asetettuja tavoitteita, sillä siiloja ei pystytä näin suurella käyttöasteella pitämään aina lähes täynnä. 1,5 tunnin purkuaika johtaa siihen, että tässä ajassa toisesta siilosta on jo ehtinyt kulua lähes saman verran pellettejä kuin mitä toiseen siiloon samaan aikaan täytetään.

Pellettikuljetukset voivat muodostaa pullonkaulan lämpökeskuksen toiminnalle, jos kulutus on nopeampaa kuin siilojen täyttäminen. Tällöin pelletit kuluvat yhtä nopeasti tai nopeammin siiloista kuin millä nopeudella niitä pystytään siiloihin purkamaan. Tässä tapauksessa on välttämätöntä miettiä joko lämpökeskuksen laajentamista, uusien läm-

pökeskusten rakentamista tai varavarastojen rakentamista lämpökeskuksen läheisyyteen. On myös mietittävä, onko kustannus- ja energiatehokasta tehdä päivittäin lukuisia kuorma-autokuljetuksia pellettitehtaan ja lämpökeskuksen välillä.

Seuraavassa on tutkittu skenaarioiden avulla lämpökeskuksen tarvetta pellettivarmuusvarastolle, jos käytössä on vain kaksi 500 m³ siiloa ja teho niin suuri, että siilot tyhjenevät samaa vauhtia kuin niihin täytetään pellettejä. Skenaarioissa on tutkittu myös vastakkaista tilannetta: kuinka pienellä siilolla tai siiloilla lämpökeskus pystyy toimimaan, jos teho on 35 MW. Skenaarioiden on tarkoitus toimia esimerkkeinä siitä, kuinka paljon siilojen koolla ja kuljetusten määrällä on merkitystä tehon maksimisuuruuteen.

Jatkuvat kuljetukset, vuorokaudenajasta riippumatta

Kuljetukset vaativat erityistä tarkkuutta, jos 1,5 tunnin aikana, kun pellettejä puretaan toiseen siiloon, toinen 500 m³ siilo ehtii tyhjentyä täysin. Lisäksi siilo, johon sinä hetkenä puretaan, on ennen täyttöä ollut täysin tyhjä, eli täytön jälkeen siilossa on 40 tonnia (eli yksi autollinen) pellettejä. Täten 1,5 tuntia on minimiaika, jonka jommankumman siilon on pystyttävä tuottamaan lämpöä, jotta lämpökeskus pystyisi toimimaan.

Tällainen skenaario on erittäin epätodennäköinen, sillä tarve on valtava, eikä sitä pystytä käytännössä toteuttamaan, sillä pellettejä täytyisi kuljettaa jatkuvasti, vuorokaudenajasta riippumatta 1,5 tunnin välein lämpökeskukselle. Tällöin autoja täytyisi olla liikenteessä vähintään 16 vuorokauden aikana, tai 32, jos molempia siiloja täytettäisiin yhtä aikaa, jolloin ongelmaksi muodostuisivat myös tyhjät paluukuljetukset ja kuljetuskaluston saatavuus. Käytännössä 1,5 tuntia ei aina välttämättä edes riitä purkuun, vaan aikaa täytyy varata noin 2 tuntia. Pellettejä ei myöskään pystytä polttamaan siiloista riittävän nopeasti tässä ajassa.

Maksimiteho, kun kuljetuksia voidaan tehdä klo 6-18 välillä

Toinen tapa tarkastella mahdollista maksimitehoa, jolla pellettikuljetukset vielä onnistuisivat, on tutkia autojen määrää vuorokaudessa, niin että määrä olisi vielä toteutettavissa klo 6-18 välillä. Kun kuljetuksille on sovittu 12 tunnin aika joka vuorokausi, ja jokaisen täyden pellettiauton purku kestää 1,5 tuntia, voidaan yhteen siiloon tehdä maksimissaan 8 kuljetusta päivän aikana (12 h / 1,5 h), eli 16 autoa yhteensä kahteen siiloon. Käytännössä 1,5 tunnin lisäksi pellettiautolla menee aikaa auton ajamiseen purkupaikalle ja poistumiseen purkupaikalta. Täten 12 tunnin aikana kahteen siiloon voidaan käytännössä toimittaa noin 15 autollista pellettejä, kun otetaan huomioon mahdolliset pienet aikatauluviivästykset purkujen välillä. Aikaisemmin luvussa 3.5. määritettiin, että yhteen siiloon voidaan tehdä korkeintaan 7 kuljetusta. Pellettien purkuun oli arvioitu tuolloin menevän kaksi tuntia, jotta tulos olisi mahdollisimman realistinen. Seuraavassa tutkitaan kuitenkin kaikkein suurinta mahdollista tehoa, jos kuljetukset sujuvatkin täysin aikataulun mukaisesti vieden korkeintaan 1,5 tuntia tai vain muutaman minuutin yli sen ajan. Siksi autojen määrä on suurempi, kuin aikaisemmin on laskettu.

15 kuorma-autoa sisältää yhteensä noin 600 tonnia pellettejä (15 x 40 t). Yhden pellettitonin lämpöarvon ollessa 4,75 MWh on 600 tonnin pellettien lämpöarvo 2850 MWh (4,75 MWh/t x 600 t). Täten 15 pellettiauton vuorokausimäärällä pellettilämpökeskuksen lämmöntuotanto voi olla 2850 MWh vuorokaudessa, eli n. 118 MW. Tämä ei ole paljoakaan suurempi kuin case 2:n 100 MW. 118 MW:n teholla siilojen tilavuus riittää, mutta itse kuljetuksia ei pystytä tekemään enempää, ainakaan klo 6-18 välillä. Täten, jos lämpökeskuksen teho nousee 118 MW:iin tai sitä suuremmaksi, tarve pellettivarastoille tai lisäsiiloille on välttämätön, erityisesti, jos teho pysyy korkeana pitkään. Näin pellettilämpökeskuksen toiminta ei ole niin riippuvainen kuljetuksien onnistumisista, vaan pysyy varmuusvarastonsa avulla toimimaan pitkiäkin aikoja.

Kyseisessä skenaariossa ei ole otettu huomioon yön aikana kuluva pellettimäärä ja miten se vaikuttaa kuljetusten tarpeeseen. Tuloksen on tarkoitus toimia suuntaa-antavana ohjeena kuljetusten ja tehon maksimimäärille, mutta käytännössä, jos pellettilämpökeskus toimii yönkin aikana 118 MW:n teholla, eivät päiväkuljetukset riitä pellettitarpeen täyttämiseen, jos käytössä on vain kaksi 300 tonnin siiloa.

Pellettien minimitarve, kun teho on 35 MW

Tämän tutkimuksen 35 MW:n pellettilämpökeskuksessa on kaksi 500 m³ siiloa, joihin mahtuu noin 300 tonnia pellettejä molempiin. Tavoitteena on pitää siilot lähes täynnä jatkuvasti. Poikkeustilanteen, esimerkiksi kuljetusten viivästymisen sattuessa siilot saatavat kuitenkin tyhjentyä enemmän kuin on suunniteltu. Täten on hyvä selvittää, mikä olisi pellettien minimimäärä, jolla lämpökeskus pystyisi vielä toimimaan 35 MW:n teholla.

Yön kuljetustauko on tässä määräävin tekijä, sillä pellettejä on oltava aina ainakin täksi 12 tunnin ajaksi. Lisäksi aamun ensimmäisen kuljetuksen purku kestää vähintään 1,5 tuntia, yleensä liki 2 tuntia, joten myös tämä aika täytyy ottaa huomioon minimipellettimäärää laskettaessa. Kokonaisuudessaan pellettien lastaus, kuljetus pellettitehtaalta pellettilämpökeskukseen, pellettien purku ja tyhjän auton palaaminen tehtaalta kestää noin 5-6 tuntia (Liite 1).

Pellettilämpökeskuksen on siis pystyttävä olemaan ilman lisäpellettejä vähintään 14 tuntia kerrallaan, jonka jälkeen seuraavien 10 tunnin aikana siiloja voidaan taas täyttää. 14 tunnin aikana pellettilämpökeskuksen lämmöntuotanto on 35 MW:n teholla 490 MWh (35 MW x 14 h). Yhden pellettitonin energiasisällön ollessa 4,75 MWh saadaan tarvittava pellettimäärä laskettua seuraavasti:

$$\text{pellettitarve 14 tunnissa} = \frac{490 \text{ MWh}}{4,75 \frac{\text{MWh}}{t}} = 103 \text{ t}$$

Tämä tulos on noin kolmasosa nykyisen yhden siilon koosta, joten täysien siilojen tyhjenemisen ei pitäisi olla lämpökeskuksella suuri ongelma. Saadun tuloksen avulla on myös helppo tarkastella yhden kokonaisen vuorokauden aikana tarvittavaa pellettimäärää. Tämä voi olla ajankohtainen tapahtuma silloin, kun kuljetuksia ei tarvitsekaan välttämättä tehdä joka päivä, tai jos pellettitehtaan kanssa on sovittu, että kuljetuksia ei tehdä esimerkiksi sunnuntaisin. Kuten jo aiemmin laskettiin, 35 MW:n teholla lämpökeskuksen lämmöntuotanto on 840 MWh vuorokaudessa. Tästä voidaan ratkaista vuorokauden pellettitarve:

$$\text{pellettitarve 24 tunnissa} = \frac{840 \text{ MWh}}{4,75 \frac{\text{MWh}}{\text{t}}} = 177 \text{ tonnia}$$

Luvussa 3.7.1. annettiin tälle pellettimäärälle (pienellä tuloksen pyöristyserolla) kuljetusehdotus, jonka toteuttaminen ei ole vaikeaa, vaikka käytössä olisi vain yksi siilo koko aikana. Pellettilämpökeskus pystyy siis toimimaan myös yhdellä siilolla ja noin 180 tonnin pellettimäärällä kokonaisen vuorokauden ilman, että sen toiminta olisi haastavaa. Täten, jos esimerkiksi toinen siiloista jouduttaisiin sulkemaan teknisen vian vuoksi, pystyisi lämpökeskus jatkamaan toimintaansa edelleen täydellä teholla muutamankin vuorokauden ajan olettaen, että pellettikuljetuksia pystyttäisiin tekemään normaalisti.

On myös huomioitava, että pellettikuljetuksia ei välttämättä tehdä joka päivä, vaan esimerkiksi viikonloppuisin voidaan pitää kuljetustauko. Tällöin kuljetukset on suunniteltava niin, että perjantaisin ja maanantaisin lisätään kuljetuksia, jotta viikonlopun kuljetustauko ei häiritse pellettilämpökeskuksen toimintaa. Kuljetukset voidaan toteuttaa esimerkiksi niin, että viikonlopun aikana kuluva pellettimäärä kuljetetaan siiloihin perjantain aikana. Tällä pellettimäärällä pellettilämpökeskuksen tulisi pystyä toimimaan vähintään kaksi vuorokautta, ja lisäksi koska kuljetuksia tehdään vain klo 6-18 välillä, lämpökeskus on ilman lisäpellettejä perjantai-illasta aina maanantaiaamuun asti.

Tällöin siilojen pellettien tulee riittää ilman täyttöjä vähintään 6 tuntia perjantai-iltana, yhteensä 48 tuntia lauantaina ja sunnuntaina ja noin 8 tuntia maanantaina, kun ensimmäinen pellettikuljetus toimitetaan klo 6, ja purku kestää noin kaksi tuntia. Yhteensä lämpökeskus olisi viikonlopun kuljetustauon aikana siis ilman lisäpellettejä 62 tuntia. 62 tunnin aikana pellettejä kuluu 35 MW:n teholla noin 459 tonnia (62 h x 7,4 t/h). Tämän määrän kuljettamiseen tarvitaan noin 11 autoa (459 t / 40 t). Jos näiden 11 kuljetuksen tekeminen yhden päivänä aikana on hankalaa, voidaan kuljetukset jakaa useammallekin päivälle, kunhan varmistetaan, että pellettejä on siiloissa riittävästi koko viikonlopun ajaksi.

3.8. Kuljetuksiin vaikuttavat tekijät

Aikaisemmissa luvuissa huomattiin, että kuljetukset voivat olla pellettilämpökeskuksen toiminnan kannalta kriittisin osa. Näin siksi, että moni asia vaikuttaa pellettikuljetusten onnistumiseen: muun muassa tehon vaihtelut, yhden kuljetuksen maksimisuuruus ja purkamisen pitkä kesto. Kuljetusten onnistuminen on lämpökeskukselle erittäin tärkeää myös sen takia, että erillistä varmuusvarastoa ei ole mahdollista rakentaa ainakaan tämän työn 35 MW:n tehoiselle lämpökeskukselle. Kuljetusten aikatauluttaminen voi olla haastavaa, kun lämpökeskus käy täydellä teholla, jolloin pellettejä kuluu nopeasti ja kuljetuksia täytyy tehdä useita päivässä. Taulukossa 4 on listattuna kuljetuksiin ja niiden aikataulutukseen vaikuttavat tekijät merkittävyysjärjestyksessä (ylin merkittävin, alin vähiten merkittävä).

Taulukko 4: Pellettikuljetuksiin ja niiden aikataulutukseen vaikuttavat tekijät.

Kuljetuksiin vaikuttavat tekijät:
pelletin hinta
tehon vaihtelut
pitkä purkuaika
12 tunnin kuljetustauko öisin
kuljetuksen maksimikoko 40 t
kuljetustiheys enintään 1,5 h
siilojen koko
sääolosuhteet
pellettien saatavuus
kuljetuskaluston määrä (rajallinen)

Merkittävin pellettikuljetuksiin ja samalla koko lämpökeskuksen toimintaan vaikuttava tekijä on pelletin hinta. On verrattava pellettien ja muiden polttoaineiden, kuten kaasun ja öljyn hintoja, ja tehtävä sen mukaan päätös siitä, paljonko pellettejä kannattaa käyttää, eli paljonko lämpökeskusta kannattaa hyödyntää minäkin ajankohtana. Polttoaineiden hinnat voivat vaihdella pienelläkin aikavälillä, joten hintavertailuja voidaan joutua tekemään useasti esimerkiksi vuoden sisällä.

Tehon vaihtelut ovat merkittävä kuljetuksiin vaikuttava tekijä, sillä teho määrittää pellettien tarpeen ja täten myös kuljetusten määrän. Pellettien tarve arvioidaan sen mukaan, miten tehon on ennustettu vaihtelevan vuoden aikana. Merkittävä tekijä on myös pitkä purkuaika, joka vaikuttaa erityisesti kuljetuksien aikataulutukseen, samoin 12 tunnin kuljetustauko. Kuljetuksia ja niiden aikataulutusta rajoittaa myös yhden kuljetuksen maksimikoko, 40 tonnia. Samoin kuljetustiheys, joka johtuu purkajan pituudesta, voi olla korkeintaan 1,5 tuntia. Tämä voi olla merkittävä tekijä erityisesti, kun kuljetuksia

täytyy tehdä useita päivän aikana. Siilojen koko voi myös olla kuljetusten määrän rajoitteena.

Huonot sääolosuhteet vaikeuttavat kuljetusten luotettavuutta ja toisaalta sää on merkittävä vaikuttava tekijä myös tehon vaihteluissa. Pellettien saatavuudessa on otettava myös ulkomaankuljetukset huomioon, sillä jos lämpökeskuksen pellettitarvetta ei pystytä muilla keinoin kattamaan, voidaan pellettejä tilata ulkomailta tai muilta kotimaan pellettitoimittajilta. Näin joudutaan tekemään, jos pellettitoimittaja ei pysty toimittamaan sovittua pellettimäärää, tai jos lämpökeskus ylittää sopimuksessa sovitun tilausmäärän. Ulkomaankuljetuksissa on otettava huomioon pelletin laatu, kuinka suuri määrä tilataan, mistä tilataan ja voidaanko pelletit tilata aina samasta paikasta vai saatavuudesta riippuen eri tehtailta. Ulkomaankuljetukset vaikeuttavat myös aikataulutusta, sillä pitkät kuljetusmatkat ja rajanylitykset vievät oman aikansa.

Joissakin tilanteissa, niin ulkomaan- kuin kotimaankuljetuksissakin, kuljetuskaluston määrä voi olla rajallinen. Tällöin kalustoa ei välttämättä olekaan saatavilla silloin kun pellettikuljetuksia tarvittaisiin, vaan kuljetusyrityksen autot voivat olla joko muissa tehtävissä tai teknisen vian takia poissa käytöstä. Tämän tutkimuksen pellettilämpökeskus käyttää pellettitehtaan hyödyntämää kuljetusyritystä, jolla on käytössä yli 30 autoa kaikkineen. Tällä hetkellä, kun suuria pellettilämpökeskuksia ei vielä ole useita, pystytään kuljetukset tekemään tällä kuljetusautokapasiteetilla, mutta tulevaisuudessa lämpökeskusten määrän lisääntyessä voidaan joutua lisäämään kuljetuskalustoa ja ottamaan käyttöön muitakin kuin pneumaattisia kuorma-autoja. Toisaalta on otettava huomioon, että jos pellettilämpökeskusten määrä kasvaa tulevaisuudessa, syntyy samalla suurempi tarve pelleteille ja niiden kuljetuksille, jolloin myös uusia kuljetusyrityksiä ja –kalustoa voidaan perustaa.

Taulukon 4 tekijät vaikuttavat myös toisiinsa, sillä muun muassa kuljetustiheys riippuu purkuajasta, samoin siilojen koko on yksi kuljetustiheyteen vaikuttava tekijä. Tekijät eivät siis ole yksiselitteisiä, vaan ne muodostuvat monen eri tekijän yhteisvaikutuksesta. Nämä kuljetuksiin ja aikataulutukseen vaikuttavien tekijöiden riippuvuudet toisistaan on merkitty matriisiksi taulukkoon 5. Kun vasemmassa reunassa oleva tekijä vaikuttaa johonkin ylärivin tekijään, on sen kohdalle merkitty rasti. Taulukkoa voidaan tarkastella molempiin suuntiin: mitkä asiat vaikuttavat mihinkin, tai mitkä asiat ovat riippuvaisia mistäkin asioista.

Taulukko 5: Pellettikuljetuksiin ja aikataulutukseen vaikuttavien tekijöiden vaikutukset toisiinsa.

vaikuttava tekijä: \ riippuvainen tekijä:	pelletin hinta	tehon vaihtelut	pitkä purkuaika	12 tunnin kuljetustauko	kuljetuksen maks. 40 t	kuljetustih. enint. 1,5 h	siilojen koko	sääolosuhteet	pellettien saatav.	kulj.kaluston määrä
pelletin hinta	-	x							x	
tehon vaihtelut		-								
pitkä purkuaika			-			x				
12 h kuljetustauko				-			x		x	
kuljetusmaks. 40 t					-		x		x	
kuljetustih. enint. 1,5 h						-	x		x	
siilojen koko							-		x	
sääolosuhteet		x						-	x	
pellettien saatavuus		x							-	
kulj.kaluston määrä									x	-

Taulukosta 5 selviää, että erityisesti pellettien saatavuus on riippuvainen monesta tekijästä: niin pelletin hinta, yön kuljetustauko, kuljetuksen maksimikoko, rajallinen kuljetustiheys, siilojen koko, sääolosuhteet ja joissakin tapauksissa myös kuljetuskaluston rajallinen määrä voivat vaikuttaa pellettien saatavuuteen. Hinta vaikuttaa saatavuuteen, sillä pellettien hinnan ollessa korkeampi kuin muiden polttoainevaihtoehtojen, ei pellettejä välttämättä käytetä, vaan lämmöntarve ratkaistaan muita polttoaineita hyödyntämällä. Samasta syystä polttoaineen hinta vaikuttaa myös tehon vaihteluihin, eli siihen, missä määrin pellettilämpökeskusta käytetään.

Pitkä purkuaika vaikuttaa kuljetustiheyteen, sillä pellettejä ei pystytä purkamaan siiloon kuin yksi auto kerrallaan, joten lämpökeskuksella voi olla korkeintaan sen verran autoja purkamassa yhtä aikaa kuin mitä on siiloja. Niin 12 tunnin jokaöinen kuljetustauko, yhden kuljetuksen maksimikoko kuin kuljetustiheyskin vaikuttavat siilojen kokoon ja pellettien saatavuuteen. Yön aikana ei voida kuljettaa pellettejä lämpökeskukselle, vaan siilojen on oltava riittävän kokoisia ja pellettejä niissä riittävästi, jotta yön kulutuksesta selvitään. Yhden kuljetuksen maksimikoko (40 t) rajoittaa lämpökeskukselle kerralla saatavaa pellettimäärää, sillä kuljetuksia ei voida tehdä rajattomasti juurikin purkuajasta johtuen, mikä vaikuttaa myös kuljetustiheyteen (korkeintaan 1,5 h). Lisäksi 1,5 tunnin

kuljetustiheys (ja samalla 40 tonnin kuljetusraja) voi osaltaan vaikuttaa siihen, minkä kokoinen siilo kannattaa rakentaa, sillä tässä ajassa siilosta voi kulua saman verran pellettejä kuin mitä sinne ehditään purkaa. Siilojen koko on siis pystyttävä optimoimaan mahdollisimman hyvin, jotta niihin mahtuu aina riittävästi pellettejä.

Sääolosuhteet aiheuttavat lämpökeskukselle helposti haasteita, sillä sään ennustamisen perusteella pyritään arvioimaan tehon vaihteluja ja tätä kautta pellettitarvetta. Lisäksi huonot sääolosuhteet voivat viivästyttää kuljetuksia, jolloin vaikutus näkyy pellettien saatavuuden hankaloitumisessa. Pellettien saatavuus vaikuttaa täten myös tehoon ja sen vaihteluihin, jos pellettejä ei pystytä toimittamaan lämpökeskukselle niin nopeasti, kuin sen hetkinen teho vaatisi. Tällöin tehon suuruutta joudutaan pienentämään. Myös kuljetuskaluston rajallinen määrä voi tulla pellettien saatavuudessa vastaan, sillä kuten jo aiemmin työssä mainittiin, kuljetuskalustoa tarvitaan myös muissa kuin tämän tutkimuksen pellettikuljetuksissa.

3.9. Yhteenveto skenaarioissa lasketuista arvoista

Luvussa 3 laskettiin skenaarioille erinäisiä arvoja muun muassa pellettitarpeelle ja siilojen koolle. Taulukossa 6 on listattuna tärkeimmät aikaisemmissa luvuissa lasketut arvot 35 MW:n ja 100 MW:n tehoisille lämpökeskuksille.

Taulukko 6: Yhteenveto case 1:n ja case 2:n tuloksista.

	CASE 1	CASE 2
teho	35 MW	100 MW
pellettitarve	7,4 t/h	21,2 t/h
siilojen määrä ja koko	2 x 300 t	3 x 505 t
siilojen kokonaisriittoisuus	3,4 vrk	3 vrk
kuljetuksia vuorokaudessa	4,5	12,6

Taulukon 6 siilojen kokonaisriittoisuus tarkoittaa kaikkien lämpökeskuksen siilojen yhteisriittoisuutta, kun lämpökeskus toimii täydellä teholla ja siilot ovat alkutilanteessa kaikki täynnä, mutta siiloja ei täytetä. Eli 35 MW:n lämpökeskuksessa tämä tarkoittaa 2 siilon kokonaisriittoisuutta ja 100 MW:n lämpökeskuksessa 3 siilon kokonaisriittoisuutta. Tuloksista on helppo huomata, että tehon kasvaessa pellettejä tarvitaan aina enemmän, siilojen koon täytyy olla huomattavasti suurempi ja kuljetuksia täytyy tehdä useammin, jotta siilot pysyvät riittävän täynnä.

4. PELLETTIKULJETUSTEN RISKIMATRIISI JA TOIMINTAMALLI

4.1. Toimintavarmuuden takaaminen ja riskimatriisi

Lämpökeskuksen toimintavarmuus on taattava, jotta sen toiminta on luotettavaa ja häiriötöntä. Käytännössä 100-prosenttinen toimintavarmuus ei ole mahdollista, sillä aina ilmenee joitakin ongelmia, jotka aiheuttavat häiriöitä lämpökeskuksen toimintaan. Näitä voivat olla esimerkiksi huoltokatkot tai sääolosuhteiden aiheuttamat viivästykset kuljetuksissa. Toimintavarmuuden takaamiseksi on tehtävä riskikartoitus, eli selvitettävä mitkä riskejä lämpökeskuksen toiminnassa voi ilmetä ja kuinka suurella todennäköisyydellä ne voivat toteutua. Tässä työssä riskikartoitus tehdään aihepiirin takia logistisesta näkökulmasta.

Riskien suuruuden arviointiin on käytetty taulukossa 7 määriteltyä PK-yrityksien riskienhallinnan kehittämää riskien todennäköisyystaulukkoa (PK-yrityksen haavoittuvuusanalyysi, s. 11). Riskin todennäköisyydeksi on valittu kolme eri vaihtoehtoa: epätodennäköinen, mahdollinen ja todennäköinen. Näiden tapahtumismahdollisuutta on tarkennettu määrittelemällä jokaiselle sallittavat tapahtuman aikavälit: epätodennäköinen riski saa toteutua korkeintaan kerran kahdessa vuodessa, mahdollinen riski kerran muutaman kuukauden aikana ja todennäköinen riski kerran viikossa. Nämä aikavälit koettiin sopiviksi lämpökeskuksen toiminnan kannalta, sillä lämpökeskus toimii talviaikaan muutamana kuukautena täydellä teholla, jolloin riskin toteutuminen voi aiheuttaa eniten ongelmia. Muina vuodenaikoina tehon tarve ei välttämättä ole yhtä suuri, joten pienistä riskeistä pystytään selviytymään tuolloin helpommin.

Taulukko 7: Riskien todennäköisyystaulukko (PK-yrityksen haavoittuvuusanalyysi, s. 11).

Tapahtuman todennäköisyys	Tapahtuman seuraukset		
	Vähäiset	Haitalliset	Vakavat
Epätodennäköinen (kerran kahdessa vuodessa)	1. Merkityksetön riski	2. Vähäinen riski	3. Kohtalainen riski
Mahdollinen (kerran muutamassa kuukaudessa)	2. Vähäinen riski	3. Kohtalainen riski	4. Merkittävä riski
Todennäköinen (kerran viikossa)	3. Kohtalainen riski	4. Merkittävä riski	5. Sietämätön riski

Aikaisemmin teoriaosion luvussa 2.5. ja skenaario-osion luvussa 3.3. selvitettiin pellettikuljetusten ja lämpökeskuksen toiminnan riskit yleisellä tasolla. Teoria- ja skenaariolukujen riskit osoittautuivat monilta osiltaan samoiksi ja näiden lisäksi myös luvun 3.8. kuljetuksiin ja aikataulutuksiin vaikuttavissa tekijöissä oli paljon samoja haasteita. Seuraavassa taulukossa 8 on selvitetty tämän tutkimuksen pellettilämpökeskuksen toiminnan riskit logistisesta näkökulmasta, taulukossa ei ole tutkimuksen rajauksen takia otettu erityisesti huomioon lämpökeskuksen mahdollisia teknisiä vikoja tai kustannusnäkökulmaa. Osa riskeistä liittyy samaan aihealueeseen, kuten kuljetuksien ja aikataulutuksen epäonnistuminen, mutta ne on kuitenkin eroteltu omiksi riskeikseen erilaisten syiden ja seurausten takia. Riskimatriisissa pyritään arvioimaan jokaisen löydetyn riskin esiintymistodennäköisyyttä pellettilämpökeskuksessa ja sen aiheuttamien seurauksien vakavuutta määrittelemällä riskien suuruudet taulukon 7 avulla.

Taulukko 8: Pellettilämpökeskuksessa esiintyvät logistiset riskit, niiden syyt, seuraukset, tapahtumistodennäköisyydet ja suuruudet.

Riski:	Riskin syyt:	Pahimmat seuraukset:	Tapahtuman todennäköisyys:	Riskin suuruus:
tehon vaihteluiden ennustamisen epävarmuus	sään ja lämmöntarpeen vaihtelut	pelletin tarpeen jatkuva vaihtelu, kuljetusten aikataulujen muutokset, lämpökeskuksen toiminnan haastavuus	Mahdollinen	3. Kohtalainen riski
aikataulutuksen epäonnistuminen	purkuaika, siilojen rajallinen koko, tehon yllättävät vaihtelut	liian monta autoa purkupaikalla, pellettien loppuminen siiloista, lisäkustannukset autojen johtamisesta	Mahdollinen	3. Kohtalainen riski
siilojen koon rajallisuus	varastotilojen puute, täyttäminen ei tasais- ta vuorokauden aikana	siilojen tyhjeneminen kokonaan, rajalliset kuljetusmahdollisuudet, kun siilojen koko tulee vastaan	Epätodennäköinen	2. Vähäinen riski
kuljetusten epäonnistuminen	purkuajan pituus, yön kuljetustauko, viivästymiset, huonot sääolosuhteet, onnettomuudet	pellettitoimitukset eivät kata tarvetta, aikataulujen muutokset, lisäkustannukset	Epätodennäköinen	2. Vähäinen riski
pellettien saatavuuden epävarmuus	viivästymiset kuljetuksissa, pellettien tilaaminen ulkomailta/eri tehtaalta kuin yleensä	siilojen tyhjeneminen, lisäkustannukset eri polttoaineen käytöstä	Epätodennäköinen	2. Vähäinen riski
pelletin laatu- virheet	pelletinvalmistuksessa sattunut virhe, liikaa purua tms. pelletin seassa	toiminnan keskeytyminen vian vuoksi	Epätodennäköinen	1. Merkityksetön riski

Taulukkoon 8 listatuista kuudesta riskistä vain kaksi muodostaa kohtalaisen riskin lämpökeskuksen toiminnalle, loput ovat joko vähäisiä tai merkityksettömiä riskejä. Tehon

vaihteluiden ennustaminen pitkälle aikavälille, esimerkiksi vuodeksi eteenpäin, on erittäin haastavaa. Näin joudutaan kuitenkin tekemään, jotta pelletit pystytään tilaamaan riittävän ajoissa ja takaamaan pellettien saatavuus. Riskinä on, että teho on arvioitu väärin ja täten myös pellettien määrä. Tämä taas johtaa siihen, että lämpökeskuksen toiminta ei ole 100-prosenttisesti varmaa, jos pellettien saatavuus ei ole taattu.

Kohtalainen riski on myös kuljetuksien aikataulutuksen epäonnistuminen. Aikataulutuksessa on huomioitava pellettien purkamiseen kuluva aika ja siilojen määrä sekä koko, mikä rajoittaa erityisesti autojen yhtäaikaista määrää pellettilämpökeskuksella. Pahimmillaan epäonnistunut aikataulutus voi johtaa siihen, että autoja on lämpökeskuksella liian monta yhtä aikaa, jolloin jokin autoista joutuu odottamaan purkuvuoroaan tai lähtemään pois. Odottamisesta peritään lisämaksu, joka lämpökeskuksen on maksettava. Toisaalta seurauksena voi olla myös se, että siiloja ei ehditä täyttää riittävän nopeasti.

Vähäisiä riskejä löytyi kolme: siilojen rajallinen kapasiteetti, kuljetusten epäonnistuminen ja pellettien saatavuuden epävarmuus. Siilojen koko asettaa rajoituksia muun muassa sille, kuinka usein kuljetuksia voidaan tehdä pellettitehtaalte, sillä siiloihin ei mahdu rajattomasti pellettejä. Toisaalta siilot voivat tyhjentyä nopeammin kuin niitä ehditään täyttää, jos teho on suuri ja siilojen koko on lämpökeskuksen rakennusvaiheessa arvioitu väärin tai kuljetukset viivästyvät. Samoista syistä myös kuljetukset voivat olla riski: purkuaika, viivästymiset ja onnettomuudet voivat aiheuttaa riskin, jonka seurauksena kuljetukset eivät ole ajallaan pellettilämpökeskuksella ja pelletit purettuina siiloissa. Kuljetusten epäonnistuminen voikin aiheuttaa lisäkustannuksia, jos tämän takia joudutaan käyttämään kalliimpaa polttoainetta tai jos pellettejä joudutaan tilaamaan muilta tehtailta.

Pellettien saatavuus lämpökeskukseen on niin ikään riippuvainen kuljetuksista, mutta myös siitä, mistä pelletit tilataan. Jos pellettitehtaan kanssa tehty sopimus pellettien määrästä ylittyy, voi lämpökeskus joutua tilaamaan osan pelleteistään esimerkiksi ulkomailta tai toiselta kotimaiselta pellettitehtaalte. Tällöin pellettien saatavuus voi olla riski, jos kuljetukset ja niiden aikataulut eivät mene suunnitelmien mukaisesti. Pellettien tilaaminen muilta tehtailta voi aiheuttaa myös lisäkustannuksia.

Pelletin laatuvirheet koettiin merkityksettömäksi riskiksi, sillä laadunvarmistus tehdään pellettitehtaalte kaksi kertaa yhden työvuoron aikana, kuten jo luvussa 3.2. mainittiin. Lisäksi suurissa pellettilämpökeskuksissa pelletin laadun ei tarvitse olla yhtä tasalaatuisista kuin pienemmissä lämpökeskuksissa, joissa laadunvaihtelut voivat aiheuttaa teknisiä vikoja herkemmin.

Riskimatriisissa ei ole otettu huomioon lämpökeskuksen teknisiä riskejä, sillä työ keskittyy logistisiin ongelmiin. Mainittakoon, että huoltokatkot voivat aiheuttaa lämpökeskuksen toimintaan katkoja, mutta ne on tarkoitus ajoittaa sellaisiin ajankohtiin, jolloin

lämpökeskus on poissa toiminnasta tai sen toiminnan keskeyttäminen ei aiheuta lisäkustannuksia.

Monen riskin kohdalla pellettien saatavuus osoittautui yhdeksi merkittäväksi riskin aiheuttajaksi tai seuraukseksi. Samoin pellettien saatavuus oli yksi merkittävä vaikuttava tekijä pellettikuljetuksissa ja aikataulutuksessa luvussa 3.8. Vapon pellettitehtailla on ympäri Suomea aina vähintään 10 000 tonnia pellettejä sekä lisäksi 5 000 tonnia sahanpurua (Liite 1). Täten ainakin nykyisen mittakaavan 35 MW:n pellettilämpökeskukselle pellettejä on aina saatavilla Suomessa tällä hetkellä. Tulevaisuudessa pellettilämpökustusten määrä voi kasvaa huomattavasti, jolloin pellettien saatavuudesta voi joutua kilpailemaan. Tällöin myös kuljetuskaluston saatavuus voi olla rajallinen, tai jos etukäteen tehty pellettimääräsopimus ylittyy, ei pellettitehtaan ole välttämätöntä toimittaa pellettejä lisää.

4.2. Riskien ja seurausten vähentäminen

Kohtalaisten riskien vähentämiseksi on tehtävä toimenpiteitä, jotta riskit eivät toteutuisi niin suurella todennäköisyydellä. Toimenpiteet voivat olla esimerkiksi keinoja, joilla riskeihin osataan varautua. Vähäisten ja merkityksettömien riskien on arvioitu tapahtuvan niin harvoin, että niihin on hyvä varautua, mutta erityisiä riskin pienentämistoimenpiteitä ei välttämättä tarvita.

Koska pellettilämpökeskuksen tehon vaihtelut riippuvat muun muassa sääolosuhteista ja lämmöntarpeesta, ei vaihtelua pystytä ennustamaan kovin tarkasti etukäteen. Sääolosuhteet vaihtelevat niin vuodenaikojen kuin eri vuosienkin mukaan, joten aikaisempien vuosien säätiloja voidaan käyttää ennustamiseen vain suuntaa-antavana apuna. Täten riskin todennäköisyyttä ei välttämättä pystytä tehon vaihtelujen ennustamisessa pienentämään, vaikkakin hyvin suunnitellut arviot tehon vaihteluista auttavat. Riskiin varautuminen on sen sijaan välttämätöntä, jotta lämpökeskuksen toiminta olisi varmaa.

Myös kuljetuksien aikataulutukset riippuvat osaltaan siitä, miten lämpökeskuksen teho vaihtelee, ja kuinka usein pellettikuljetuksia täytyy milläkin teholla tehdä. Kuljetuksia ei välttämättä tarvitse tehdä joka päivä tai määrä vaihtelee päivän mukaan. Tällöin aikataulutuksen tekeminen ei ole yksinkertaista ja vaatii monen eri asian huomioonottamista (tehon vaihtelut, purkuaika, siilojen koko). Aikataulutus todettiin kohtalaiseksi riskiksi, joten tähänkin riskiin on pystyttävä varautumaan.

Mahdollisia varautumistoimenpiteitä tehon vaihteluiden ennustamiseen ja kuljetusten aikatauluttamiseen ovat:

- siilojen täyttöasteen pitäminen riittävän korkeana jatkuvasti
 - esim. pellettejä aina 12 tunniksi (määrä laskettava maksimitehon mukaan)
- varmuusvaraston rakentaminen

- tilanteen jatkuva seuranta (yhteistyö pellettitehtaan ja lämpökeskuksen välillä)
- mallin kehittäminen tehon vaihteluiden arviointiin
- aikataulutusten suunnittelu etukäteen skenaarioiden avulla
 - o esim. hyödyntämällä tämän tutkimuksen skenaarioita
 - o maksimitehon kuljetusten aikataulutus hyvä ennakoida
- vakuutusten hankkiminen

Pitämällä siilot aina niin täynnä, että pellettejä riittää useammaksi tunniksi, vältetään kuljetusten aikataulutussyönteiden välittömiltä seurauksilta. Ratkaisu on helpompi toteuttaa, kun lämpökeskuksen teho on pieni, mutta täydellä teholla käydessään siilot tyhjenevät nopeasti ja siilojen täyttöastetta on haastavaa pitää korkeana. Kyseinen varautumistoimenpide on kuitenkin mahdollista järjestää tämän tutkimuksen 35 MW:n lämpökeskuksessa, jos noudattaa luvun 3.7.1. kuvassa 10 annettua kuljetusratkaisua. Toinen keino välttää pellettien aikataulutus- ja saatavuusongelmat, on rakentaa varmuusvarasto lämpökeskuksen välittömään läheisyyteen. Varmuusvarastosta pelletit voidaan kuljettaa esimerkiksi putkia pitkin suoraan siiloihin. Aiemmin mainittiin, että tämän tutkimuksen pellettilämpökeskukseen varmuusvarastoa ei rakenneta tilanpuutteen vuoksi, mutta tulevaisuuden lämpökeskuksissa ehdotus kannattaa ottaa huomioon.

Pellettitehtaan ja -lämpökeskuksen on tehtävä yhteistyötä ja informoitava toisiaan jatkuvasti muun muassa poikkeustilanteista, kuten tehtaan seisokeista tai lämpökeskuksen siilojen epäkunnosta. Näin molemmat tahot pystyvät muokkaamaan toimintaansa välittömästi tilanteen vaatimalla tavalla eikä väärinkäsityksiä pääse tapahtumaan.

Tehon vaihteluiden ennustaminen voi olla erittäin haastavaa, erityisesti kun lämpökeskus on uusi eikä edellisten vuosien käyttömääriä ole vielä tiedossa. Tällöin joudutaan arvioimaan vuoden aikana tarvittava teho ja sen kautta pellettien määrä käyttämällä apuna muun muassa muilla polttoaineilla toimivien lämpölaitosten tehon arvoja ja arvioimalla lämmöntarpeen kasvua edellisiin vuosiin verrattuna. Tehon vaihteluihin on hyvä kehittää malli, jonka perusteella arviot tehdään. Mallia tulee muokata aina sen mukaan, miten hyvin sen avulla on onnistuttu arvioimaan todellista kulutusta. Tehon vaihtelua voidaan arvioida vuosi-, kuukausi- ja viikkotasolla. Viikkoarviot ovat luotettavampia kuin koko vuoden arviot, sillä muun muassa sään- ja tätä kautta lämmönvaihtelut on helpommin ennustettavissa viikoksi kuin vuodeksi eteenpäin.

Erityisesti silloin, kun lämpökeskus toimii täydellä teholla, on kuljetusten aikataulutusessa oltava huolellinen. Aikataulusuunnitelma kannattaakin tehdä jo etukäteen ja varmistaa sen toimivuus ennen toteutusta. Näin vältetään suurimmilta ongelmilta kuljetuksissa. Aikatauluja suunniteltaessa on hyvä huomioda, että kuljetusten vähentäminen on aina helpompaa kuin lisääminen, sillä mitä vähemmän pellettikuljetuksia täytyy lämpökeskukselle tehdä, sitä vähemmän täytyy ottaa huomioon esimerkiksi purkuun kuluva aikaa. Toisaalta, vaikka aikataulutuksen tekeminen helpottuu, on muistettava että kulje-

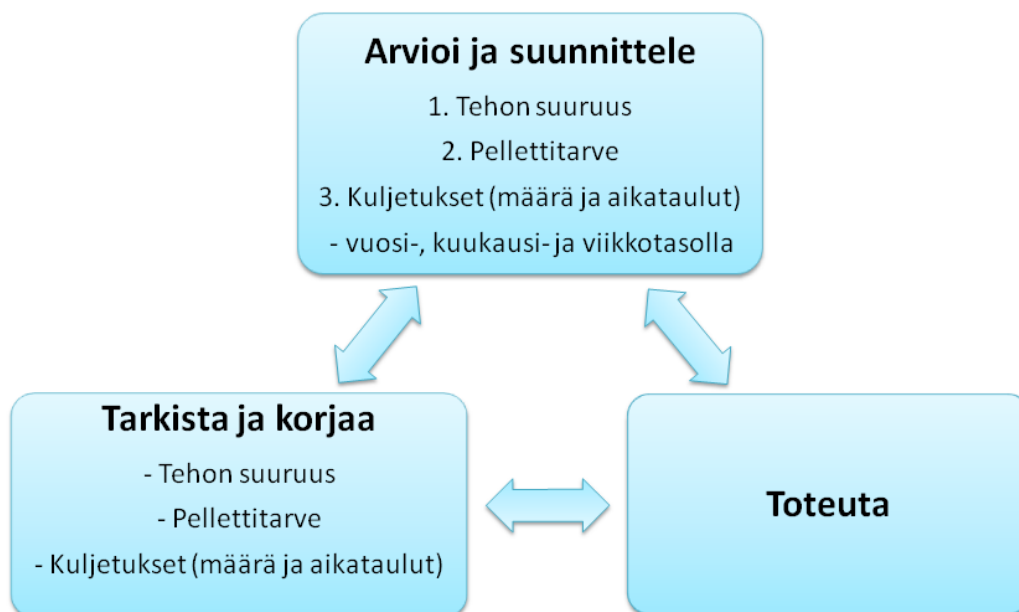
tuksia ei voida tällöinkään tehdä täysin suunnittelematta, sillä siilojen koko ja lämpökeskuksen teho vaikuttavat edelleen kuljetusten tarpeeseen.

Riskeihin varautumiseen liittyy myös lämpökeskuksen vakuuttaminen. Vakuutuksilla ei pystytä niinkään estämään riskin toteutumista, mutta riskin tapahtuessa vakuutuksilla pystytään korvaamaan ainakin osa vahinkokustannuksista. Vakuutukset eivät kuitenkaan kata esimerkiksi kuljetusten viivästymisiä, vaan ne korvaavat pikemminkin teknisiä vikoja.

Koska kaikkien riskien todennäköisyyttä ei pystytä välttämättä pienentämään, voidaan pyrkiä vähentämään riskien aiheuttamien tapahtumien seurauksia. Monen riskin seuraukseksi todettiin pellettien saatavuuden epävarmuus (ks. taulukko 8): esimerkiksi pellettien loppuminen siiloista tai kuljetusten viivästymisistä johtuva pellettipula. Toteutukseen seurauksia voi olla merkittävä tekijä lämpökeskuksen toiminnan hankaloitumisessa. Tähän seuraukseen voidaankin varautua selvittämällä, miltä muilta toimittajilta pellettejä voidaan tilata. Lämpökeskuksen toiminta ei ole sidottu yhteen pellettitehtaaseen, vaan tarvittaessa voidaan kilpailuttaa myös muita toimittajia. Luvussa 3.3. mainittiin lisäoptio eli lisäpellettimäärän mahdollisuus, josta voidaan sopia pellettitehtaan kanssa, jos lämpökeskus on arvioinut pellettitarpeensa sopimuksessa liian pieneksi. Lisäoptio on kuitenkin tehtävä riittävän ajoissa, jotta pellettitehdas ehtii valmistaa pellettejä tarpeellisen lisämäärän ennen niiden tarvetta lämpökeskuksella. Kun seurauksiin osataan ennalta varautua, vältetään yllättäviä tapahtumia lämpökeskuksessa ja palautuminen häiriötilanteista on nopeampaa.

4.3. Toimintamalli pellettikuljetuksille

Jotta tämän tutkimuksen pellettilämpökeskuksen pellettikuljetukset pystytään aikatauluttamaan ja suunnittelemaan onnistuneesti, on seuraavassa kuvassa 12 kehitetty toimintamalli kuljetuksille ja samalla koko lämpökeskuksen käytännön toiminnalle. Toimintamalli sisältää lämpökeskuksen toiminnallisia ja taktisia toimenpiteitä, joista puhuttiin luvussa 2.3. ja se on kehitetty aikaisemmissa luvuissa löydettyjen lämpökeskuksen haasteiden, riskien ja kuljetuksiin vaikuttavien tekijöiden avulla.



Kuva 12: Pellettilämpökeskuksen ja -kuljetusten toimintamalli.

Lähdettäessä suunnittelemaan pellettilämpökeskuksen käytännön toimintaa, tulee ensimmäiseksi arvioida tehon suuruus koko vuodelle, jokaiselle kuukaudelle ja viikolle. Tehon suuruuden ennustaminen on helpompaa lyhyelle aikavälille kuin pitkälle sääolosuhteiden ja lämmöntarpeen vaihteluiden takia. Siksi voidaan olettaa, että tehon vuosiarvio ei välttämättä ole kovin tarkka, mutta viikkosuunnitelmat voivat hyvinkin pitää paikkaansa, jos arvio tehdään esimerkiksi viikoksi eteenpäin.

Tehon arvioiden perusteella tehdään pellettitarpeen arvio niin ikään vuodeksi, jokaiselle kuukaudelle ja viikolle. Arvion avulla tehdään sopimus pellettitoimituksista pellettitehtaan kanssa vuodeksi eteenpäin. Kuljetukset suunnitellaan vähintään viikoksi eteenpäin sen perusteella, kuinka suureksi lämpökeskuksen teho ja pellettitarve on arvioitu. Kuljetuksien suunnitteluun liittyvät kuljetusten määrän ja aikataulujen suunnittelu sekä se, kumpaan siiloon mikäkin kuljetus puretaan. Kuljetuksia ei välttämättä tehdä joka päivä tai niitä voi olla eri määriä eri päivinä. Kuljetuksissa on aina otettava huomioon pellettitehtaan kanssa tehty vuosisopimusmäärä, jotta se ei ylity.

Toteutusvaiheessa suunnitellut tehot, pellettitarpeet ja kuljetukset otetaan käyttöön lämpökeskuksessa. Kuukausiarvioiden mukaan tarkistetaan, tarvitseeko esimerkiksi pellettimääriä tai kuljetuksia muuttaa. Tehoa muutetaan lämmöntarpeen mukaan. Erityisesti on varmistettava pellettien vuosisopimuksen pitävyys ja tarvittaessa tehtävä joko lisäopiosopimus, tutkittava muita toimittajavaihtoehtoja tai vähennettävä pellettien kulutusta. Toteutuksen jälkeen on helpompi tarkistaa ja korjata mahdollisia suunnitteluvaiheen virheitä, sillä käytännön toiminnan avulla voidaan helpommin selvittää epäkohdat ja keinot niiden korjaamiseen.

Jokaisessa toimintamallin vaiheessa on erityisesti huomioitava kuljetuksiin suuresti vaikuttavat tehon vaihtelut sekä siilojen koot. Pellettilämpökeskuksen teho on se, joka määrää pellettien tarpeen ja tätä kautta kuljetusten määrän. Lisäksi pellettitehtaan kanssa tehtyä vuosisopimusta ei voi enää myöhemmin muuttaa. Siksi tehon arviointi on erittäin merkittävä vaihe koko lämpökeskuksen toiminnassa.

Edellä kehitettyä toimintamallia voidaan käyttää niin tämän tutkimuksen 35 MW:n lämpökeskuksessa, jonka on tarkoitus valmistua vuoden 2012 lopussa, sekä jatkossa, kun suunnitellaan uusia pellettilämpökeskuksia ja niiden toimintaa. Toimintamallin vaiheet on määriteltä tämä työn sekä Tampereen Energiantuotanto Oy:n neuvojen perusteella (Liite 1).

5. YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT

5.1. Johtopäätökset ja toimenpidesuosituksset

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin puupellettien kuljetuslogistiikkaa, kuljetuksiin vaikuttavia tekijöitä ja pellettilämpökeskuksen toimintaa ja riskejä. Päättökysymyksessä mainittu varastointi jäi hieman taka-alalle, sillä tutkimuksen aikana selvisi, että lämpökeskukseen ei tulla rakentamaan varmuusvarastoa tai muitakaan varastotiloja tilan puutteen vuoksi. Toisaalta siilot, joihin pelletit puretaan toimivat näin myös varmuusvarastoina ja varastointia tarkasteltiinkin enimmäkseen tästä näkökulmasta.

Tutkimuksen kaksi skenaariota osoittivat sen, että tehon vaihteluiden arviointi, kuljetusten onnistuminen ja siilojen koko ovat ratkaisevia tekijöitä pellettilämpökeskuksen varmalle toiminnalle: jos pellettejä ei ole siiloissa tehon suuruuteen nähden riittävästi, ja jos pellettikuljetuksilla ei pystytä kattamaan pellettien kulutusta, ei lämpökeskus pysty toimimaan tarvittavalla teholla. Toisaalta sekä siilojen koko että pellettien kuljetustiheys ovat myös rajoittavia tekijöitä lämpökeskuksen toiminnalle, sillä yhden pellettikuorman purku vie aikaa puolitoista tuntia ja kuljetuksia ei tehdä jatkuvasti vuorokauden aikana. Lisäksi siilojen tilavuus on ennalta määritetty, joten pellettien kuljetuksissa on otettava huomioon myös koon asettamat rajoitukset.

Työn päättökysymyksessä haluttiin selvittää, millainen pellettien kuljetuksen ja varastoinnin on oltava, jotta pellettitarve täyttyy lämpökeskuksessa. Tähän vastattiin luvun 3 skenaarioiden avulla selvittämällä, millaisilla kuljetusmäärillä erikokoiset pellettitarpeet tulee täytettyä ja minkä kokoiset siilot tarvitaan, jos tehon suuruus kasvaa nykyisestä 35 MW:sta 100 MW:iin. Samalla vastattiin myös päättökysymystä tarkentavaan kysymykseen siitä, miten kuljetukset tulisi järjestää, jotta siilot olisivat aina riittävän täynnä. Toisen tarkentavan kysymyksen tarkoituksena oli selvittää riskit, joita lämpökeskuksessa voi esiintyä, jos pellettejä ei olekaan saatavilla. Tätä kysymystä tutkittiin luvussa 4 riskimatriisin avulla. Samalla selvitettiin myös muita riskejä, joita kuljetuksissa ja lämpökeskuksen yleisessä toiminnassa voi esiintyä ja löydettiin niille ja pellettien saatavuudelle varautumistoimenpiteitä.

Tutkimuksen tuloksia voidaan käyttää apuna nyt valmistumassa olevassa pellettilämpökeskuksessa esimerkiksi kuljetusten määrän suunnittelussa silloin, kun pellettilämpökeskus toimii täydellä 35 MW:n teholla, sillä tutkimuksessa annettiin suora kuljetusratkaisu tälle tehomäärälle. Tutkimuksen tuloksia voidaan hyödyntää myös jatkossa, jos lämpökeskusta aiotaan laajentaa tai jos uusia lämpökeskuksia rakennetaan lähialueille, jolloin tutkimuksen tulokset auttavat kuljetusten sekä lämpökeskuksen toiminnan suunnittelua.

nittelussa. Tällöin voidaan hyödyntää 100 MW:n skenaariossa annettua kuljetusratkaisua ja toimintamallin eri vaiheita. Toimintamallia on helppo käyttää apuna sellaisenaan tai muunneltuna myös nyt valmistumassa olevassa pellettilämpökeskuksessa, sillä vaiheet pysyvät samana riippumatta lämpökeskuksen koosta.

Tutkimuksessa löydetty kuljetuksiin ja lämpökeskuksen toimintaan liittyvät logistiset riskit ovat sen sijaan vaikeasti yleistettävissä, sillä ne on määritetty juuri tämän tutkimuksen perusteella ja riskien fokus on täysin logistiikkaan liittyvä. Riskimatriisia ei siis välttämättä voi yleistää jokaiselle pellettilämpökeskukselle sopivaksi, vaan on otettava huomioon että riskejä ei ole tutkittu kovinkaan syvällisesti tutkimuksen rajallisen aikataulun ja laajuuden takia. Samasta syystä riskien selvittämistä ei mainita esimerkiksi työn otsikossa, jotta lukija ei keskittyisi erityisesti tähän osa-alueeseen. Riskit on kuitenkin pyritty esittämään niin, että tämän tutkimuksen pellettilämpökeskuksen toiminnassa osataan varautua löydettyihin riskeihin ja tiedostaa, että toiminnassa voi esiintyä annettunlaisia riskejä ja niiden seuraukset voivat olla merkittävät, jos niihin ei varauduta.

5.2. Tutkimuksen jatkotoimenpiteet

Tämän tutkimuksen pellettikuljetukset ovat korkeintaan 40 tonnia yhtä kuljetusta kohti. Tällä määrällä kuljetuksia täytyy tehdä useita yhden päivän aikana, jotta pellettitarve tulee täytettyä, kun teho on suuri. Tulevaisuudessa, jos kuljetuksien määrä ja koko tulee lämpökeskuksen toiminnan esteeksi, voidaan harkita suurempien kuljetusautojen käyttökokeilua. Nykyisin painoraja puutavara-autoille lastin kanssa on 60 tonnia, mutta esimerkiksi Ruotsissa on kokeiltu suuria, 90 tonnin kuljetuksia. Painorajan nostaminen olisi kustannus- ja energiatehokkaampaa ja ratkaisu tehostaisi kaluston käyttöä ja vähentäisi tieriasitusta. (Metsäteollisuus & Metsäteho 2012, s. 9.)

Suuret kuljetukset ovat hyödyksi erityisesti pitkillä kuljetusmatkoilla, sillä tällöin kuljetusten määrää voitaisiin vähentää. Täten kuljetusten koon kasvattaminen olisi hyvä ratkaisu Suomessakin, jossa välimatkat ovat helposti pitkiä. Tämän tutkimuksen pellettikuljetuksissa voitaisiin testata erilaisia kuljetusvaihtoehtoja ja niiden kustannuksia muuntelemalla kuljetusten kokoja ja tutkimalla esimerkiksi kuljetusmäärän suurentamista ja tätä kautta kuljetusten harventamista. Kuljetukset ovat yksi lämpökeskuksen suurimmista kustannuksista, joten keinoja, joilla kustannuksia pystyttäisiin pienentämään, on hyvä tutkia. On kuitenkin muistettava, että niin nykyisen kokoiset kuin suuremmatkin kuljetusautot tekevät paluumatkinsa usein tyhjänä, jolloin tästä syntyy turhia kuljetuskustannuksia.

Aikaisemmin mainittiin yhdeksi kuljetuksiin vaikuttavaksi tekijäksi kuljetuskaluston rajallisuus. Nykyisellä pelletin kulutuksella kalustoa on riittämiin, mutta jos pellettilämpökeskusten määrä kasvaa, myös pellettien ja kuljetuskaluston tarve lisääntyy. Pellettienergian käytön lisääminen lähitulevaisuudessa onkin hyvin mahdollista, sillä esimerkiksi turpeen käyttö energiana on ollut epävarmaa viime vuosina turpeen heikon saata-

vuoden takia (ks. esim. Energiateollisuus). Onkin todennäköistä, että kuljetusyrityksiä perustetaan lisää, jolloin kaluston rajallinen saatavuus ei ole enää esteenä lämpökeskusten toiminnalle. Tällöin mahdollistuisi myös lämpökeskusten yhteisten pellettivarastojen rakentaminen, ja jos kuljetuksien kokoa kasvatetaan, voidaan sitä hyödyntää esimerkiksi yhdistämällä eri lämpökeskusten pellettitoimituksia. Pellettilämpökeskusten välinen yhteistoiminta vähentäisi näin erityisesti kuljetus- ja varastointikustannuksia.

Tutkimuksessa annetut kuljetusratkaisut ovat hyvä apu lämpökeskuksen toiminnan suunnittelussa, mutta on otettava huomioon, että ratkaisuihin on oletettu lämpökeskuksen tehon olevan samansuuruinen koko vuorokauden ajan. Käytännössä tehon suuruus saattaa vaihdella yön ja päivän välillä lämmöntarpeen mukaan. Työssä on myös oletettu, että pellettikuljetuksia voidaan tehdä joka päivä, viikonpäivästä riippumatta. Kuljetusratkaisuja tulee muokata, jos kuljetuksia voidaankin tehdä vain esimerkiksi kuutena päivänä viikossa. Tällöin välipäivän molemmiin puolin on lisättävä pellettitoimituksia niin, että välipäivän tarve saadaan niillä katettua ja seuraavan päivän toiminta ei ole vaarassa.

Tutkimuksen tulokset perustuvat siis osin teoreettisiin oletuksiin, sillä itse lämpökeskus ei ole vielä toiminnassa, ja käytännön tietoja ei ole vielä saatavilla. Jatkotutkimuksena olisikin hyvä selvittää pellettilämpökeskuksen toiminnan sujuvuus, kun lämpökeskus on ollut toiminnassa muutaman vuoden ajan. Samalla voidaan tutkia, mitä lämpökeskuksella voitaisiin tehdä toisin ja mitä mahdollisia ongelmia toiminnassa on löytynyt. Tällainen selvitys olisi suureksi avuksi erityisesti uusien lämpökeskusten toteutuksessa ja nykyisen lämpökeskuksen toiminnan edistämisessä.

Tämän tutkimuksen pellettilämpökeskukseen kuljetetaan perinteisiä puupellettejä, joiden varastointi on haastavaa, sillä tilojen täytyy olla mahdollisimman kuivia. Tämä vaatii käytännössä aina katetun tilan. Tulevaisuudessa saatetaan käyttää enemmän torrefioituja ja mustia pellettejä, joiden on todettu kestävän paremmin kosteutta. Tämä mahdollistaa pellettien varastoinnin ulos, eikä erillisiä katettuja kuivia varastointitiloja välttämättä tarvita. Torrefioituja pellettejä tutkitaan aktiivisesti, ja niiden onkin todettu olevan 50 % energiatiheämpiä kuin tavallisen puupelletin. Toinen kosteutta hyvin kestävä pelletti on niin sanottu musta pelletti, jonka ominaisuudet muistuttavat kivihiiltä. Torrefioitu ja musta pelletti voivat tulevaisuudessa korvata osaltaan myös kivihiilen käytön, sillä polttotekniikka ei eroa suuresti nykyisestä kivihiilen polttotekniikasta. (Bioenergia 2011; Vattenfall 2012.)

Työssä tehtiin lyhyt riskien arviointi logistiikan näkökulmasta, jota voidaan laajentaa jatkoselvityksessä esimerkiksi niin, että otetaan huomioon myös kustannukset riskinä sekä kaikki tekniset ongelmat omina riskeinään. Näin riskikartoituksesta saadaan laajempi kokonaisuus, jossa tarkastellaan myös muita kuin logistisia haasteita. Riskikartoitus on aina kätevä apuväline lämpökeskuksen toiminnan varmistamisessa.

Kaiken kaikkiaan tutkimusta voidaan jatkaa moneen eri suuntaan, aihepiiristä ja mielenkiinnosta riippuen, mutta myös pelkästään tämän työn tuloksilla saadaan varmistettua erityisesti kuljetuslogistiikan toimivuus Tampereen pellettilämpökeskuksessa. Toimintamallin toimivuus ja se, miten tutkimus soveltuu muiden, vasta suunnitteilla olevien lämpökeskusten tarpeisiin jää nähtäväksi.

LÄHTEET

- Alakangas, E. New European Pellets Standard – EN 14961-1. Saatavilla [www-muodossa:](http://www.infobio.ru/sites/default/files/Alakangas_Pellet_standard_EN14961-1.pdf)
http://www.infobio.ru/sites/default/files/Alakangas_Pellet_standard_EN14961-1.pdf. Viitattu 18.7.2012.
- Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. Espoo, Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 172 s.
- Alakangas, E., Paju, P. 2002. Wood pellets in Finland – technology, economy, and market. OPET Report 5. Jyväskylä, VTT Processes. 64 s. Saatavilla [www-muodossa:](http://www.ateap.cz/new/Pelety_Finsko.pdf) http://www.ateap.cz/new/Pelety_Finsko.pdf. Viitattu 2.7.2012.
- Bioenergia 2011. Vihreä hiili – torrefioitu biomassa. Bioenergia-lehti 3/2011. Lähteessä Pellettienergia 4/2011. SPE-Uutiskirje. Saatavilla [www-muodossa:](http://www.pellettienergia.fi/index.php/ajankohtaista/uutiskirjearkisto/184-spe-uutiskirje-42011)
<http://www.pellettienergia.fi/index.php/ajankohtaista/uutiskirjearkisto/184-spe-uutiskirje-42011>. Viitattu 15.10.2012.
- Bioenergia Suomessa 2010. Bioenergiassa on myönteisyyttä. Saatavilla [www-muodossa:](http://www.finbioenergy.fi/default.asp?sivuID=9164)
<http://www.finbioenergy.fi/default.asp?sivuID=9164>. Viitattu 4.10.2012.
- Bioenergiatieto.fi 2009. Energiatuotannon tekniikka. Saatavilla [www-muodossa:](http://www.bioenergiatieto.fi/default/www/etusivu/energian_tuotanto/energiatuotannon_tekniikka/)
http://www.bioenergiatieto.fi/default/www/etusivu/energian_tuotanto/energiatuotannon_tekniikka/. Viitattu 26.6.2012.
- Energiateollisuus. Turpeen saatavuus ja hyväksyttävyys. Saatavilla [www-muodossa:](http://energia.fi/turpeen-saatavuus-ja-hyvaksyttavyys)
<http://energia.fi/turpeen-saatavuus-ja-hyvaksyttavyys>. Viitattu 29.10.2012.
- Energiateollisuus 2012. Energiavuosi 2011 – Kaukolämpö: Kaukolämmön tuotannossa uusiutuvien energialähteiden käyttö nousi ensi kerran yli 20 prosenttiin. Saatavilla [www-muodossa:](http://www.energia.fi/ajankohtaista/lehdistotiedotteet/energiavuosi-2011-kaukolampokaukolammon-tuotannossa-uusiutuvien-ene)
<http://www.energia.fi/ajankohtaista/lehdistotiedotteet/energiavuosi-2011-kaukolampokaukolammon-tuotannossa-uusiutuvien-ene>. Viitattu 21.5.2012.
- Euroopan komissio 2011. Energia ja ilmastonmuutos. Saatavilla [www-muodossa:](http://ec.europa.eu/finland/news/topics/energy/index_fi.htm)
http://ec.europa.eu/finland/news/topics/energy/index_fi.htm. Viitattu 16.5.2012.
- Forsberg, G. 2000. Biomass energy transport: Analysis of bioenergy transport chains using life cycle inventory method. Biomass and Bioenergy, Vol. 19, ss. 17-30.
- Gold, S., Seuring, S. 2010. Supply chain and logistics issues of bio-energy production. Journal of Cleaner Production, Vol. 19/2011, ss. 32-42.
- Gunnarsson, H., Rönnqvist, M., Lundgren, J. T. 2003. Supply chain modelling of forest fuel. European Journal of Operational Research, Vol. 158 (2004), ss. 103-123.

- Hannula, M., Korsman, U., Pajarre, E., Seppänen, M. 2003. A guide to academic writing. Instructions on Writing Master's Theses, Seminar Papers and Course Papers for the Department of Industrial Engineering and Management. Tampere, Tampere University of Technology, Department of Industrial Engineering and Management, Lecture Notes, 32 s.
- Harrison, A., van Hoek, R. 2008. Logistics Management and Strategy: Competing through the supply chain. 3. painos, Essex, Pearson Education Limited, 316 s.
- Heinonen, T. 2011. Huippulämpökeskus pelletillä. Tampereen Energiantuotanto Oy. Julkaisematon aineisto.
- Hirsjärvi, S., Remes, P., Sajavaara, P. 2001. Tutki ja kirjoita. 6.-7. painos, Vantaa, Tummavuoren kirjapaino Oy, 430 s.
- Jüttner, U. 2005. Supply chain risk management: Understanding the business requirements from a practitioner perspective. The International Journal of Logistics Management, Vol. 16, No. 1, ss. 120-141.
- Korpinen, O.-J., Föhr, J., Saranen, J., Väättäinen, K., Ranta, T. 2011. Biopolttoaineiden saatavuus ja hankintalogistiikka Kaakkois-Suomessa. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Teknillinen tiedekunta, LUT Energia, Tutkimusraportti 12, 103 s.
- Korsu Oy. Julkaisematon kuvamateriaali kuljetuskalustosta.
- Kuljetusala.com. Tavarankuljetus. Saatavilla [www-muodossa: http://www.kuljetusala.com/amatit/tavarankuljetus](http://www.kuljetusala.com/amatit/tavarankuljetus). Viitattu 29.10.2012.
- LOGHU3 2011. LOGHU3 – Johdon yhteenveto. Saatavilla [www-muodossa: http://www.huoltovarmuus.fi/static/pdf/197.pdf](http://www.huoltovarmuus.fi/static/pdf/197.pdf). Viitattu 26.7.2012.
- McCormick, K., Kåberger, T. 2007. Key barriers for bioenergy in Europe: Economic conditions, know-how and institutional capacity, and supply chain co-ordination. Biomass and Bioenergy, No. 31 (2007), ss. 443-452.
- Merriam-Webster. Scenario. Saatavilla [www-muodossa: http://www.merriam-webster.com/dictionary/scenario](http://www.merriam-webster.com/dictionary/scenario). Viitattu 18.10.2012.
- Metsäteollisuus & Metsäteho 2012. Kohti tehokkaampaa puuhuoltoa. Puutavaralogistiikka 2020 – kehittämisvisio ja T&K-ohjelma. Saatavilla [www-muodossa: http://www.metsateollisuus.fi/Infokortit/puutavaralogistiikka2020/Documents/Mt_Puutavaralogistiikka2020.pdf](http://www.metsateollisuus.fi/Infokortit/puutavaralogistiikka2020/Documents/Mt_Puutavaralogistiikka2020.pdf). Viitattu 15.10.2012.
- Metsävastaa.net 2012. Puuenergian käyttö hillitsee ilmastonmuutosta. Saatavilla [www-muodossa: http://www.metsavastaa.net/im_puuenergia](http://www.metsavastaa.net/im_puuenergia). Viitattu 26.6.2012.
- Motiva 2011. Puupelletti lämmittää puhtaasti ja uusiutuvasti. Saatavilla [www-muodossa: http://www.motiva.fi/files/6059/Puupelletti_lammittaa_puhtaasti_ja_uusiutuvasti.pdf](http://www.motiva.fi/files/6059/Puupelletti_lammittaa_puhtaasti_ja_uusiutuvasti.pdf). Viitattu 22.5.2012.

- Motiva 2012a. Uusiutuva energia. Saatavilla [www-muodossa:](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/)
http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/. Viitattu 7.5.2012.
- Motiva 2012b. Puuenergia. Saatavilla [www-muodossa:](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/puuenergia)
http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/puuenergia. Viitattu 26.6.2012.
- MW Power. Havainnekuva Sarankulmaan rakennettavasta pellettilämpökeskuksesta. Saatavilla [www-muodossa:](http://www.mwpower.fi/mwpower/fi/mwpower_news_FI.nsf/WebWID/WTB-120201-22576-1C258?OpenDocument)
http://www.mwpower.fi/mwpower/fi/mwpower_news_FI.nsf/WebWID/WTB-120201-22576-1C258?OpenDocument. Viitattu 15.10.2012.
- MW Power 2012. Metso toimittaa Suomen suurimman pellettilämpölaitoksen Tampereen Energiantuotanto Oy:lle. Lehistötiedote. Saatavilla [www-muodossa:](http://www.mwpower.fi/mwpower/fi/mwpower_news_FI.nsf/WebWID/WTB-120201-22576-1C258?OpenDocument)
http://www.mwpower.fi/mwpower/fi/mwpower_news_FI.nsf/WebWID/WTB-120201-22576-1C258?OpenDocument. Viitattu 14.9.2012.
- Neilimo, K., Näsi, J. 1980. Nomoteettinen tutkimusote ja suomalainen yrityksen taloustiede. Tutkimus positivismiin soveltamisesta. Tampereen yliopisto. Yrityksen taloustieteen ja yksityisoikeuden laitoksen julkaisuja. Sarja A2: Tutkielmia ja raportteja 12, Tampere, 82 s.
- Olkkonen, T. 1994. Johdatus teollisuustalouden tutkimustyöhön. Toinen painos, Otaniemi, Teknillinen korkeakoulu, Tuotantotalouden laitos, Teollisuustalous, 143 s.
- Pelletsatlas 2009a. Pellet market country report – Finland. Saatavilla [www-muodossa:](http://pelletsatlas.info/pelletsatlas_docs/showdoc.asp?id=091022154421&type=doc&pdf=true)
http://pelletsatlas.info/pelletsatlas_docs/showdoc.asp?id=091022154421&type=doc&pdf=true. Viitattu 25.4.2012.
- Pelletsatlas 2009b. Pellet market overview report - Europe. Saatavilla [www-muodossa:](http://www.pelletsatlas.info/pelletsatlas_docs/showdoc.asp?id=100211172354&type=doc&pdf=true)
http://www.pelletsatlas.info/pelletsatlas_docs/showdoc.asp?id=100211172354&type=doc&pdf=true. Viitattu 11.5.2012.
- Pelletsatlas 2009c. Logistic management of wood pellets: Data collection on transportation, storage and delivery management. Saatavilla [www-muodossa:](http://pelletsatlas.info/pelletsatlas_docs/showdoc.asp?id=100630163803&type=doc&pdf=true)
http://pelletsatlas.info/pelletsatlas_docs/showdoc.asp?id=100630163803&type=doc&pdf=true. Viitattu 7.6.2012.
- Pellettienergia. Pelletin valmistajat ja myyjät. Saatavilla [www-muodossa:](http://pellettienergia.fi/index.php/linkkejae/40-pelletin-valmistajat)
<http://pellettienergia.fi/index.php/linkkejae/40-pelletin-valmistajat>. Viitattu 21.6.2012.
- Pellettienergia 2009a. Pelletin tuotanto. Saatavilla [www-muodossa:](http://www.pellettienergia.fi/index.php/tietoa/pelletin-tuotanto)
<http://www.pellettienergia.fi/index.php/tietoa/pelletin-tuotanto>. Viitattu 2.7.2012.
- Pellettienergia 2009b. Suuremmat kohteet. Saatavilla [www-muodossa:](http://www.pellettienergia.fi/index.php/tietoa/pellettilaemmitys/suuremmat-kohteet)
<http://www.pellettienergia.fi/index.php/tietoa/pellettilaemmitys/suuremmat-kohteet>. Viitattu 24.7.2012.

- Pellettienergia 2010. Pelletin tilaamiselle monta vaihtoehtoa. Saatavilla [www-muodossa:](http://www.pellettienergia.fi/index.php/tietoa/pellettilaemmitys/pientalot/pelletin-tilaaminen)
<http://www.pellettienergia.fi/index.php/tietoa/pellettilaemmitys/pientalot/pelletin-tilaaminen>. Viitattu 19.7.2012.
- Pellettienergia 2011. Pellettienergian tilastot ja ennuste vuodelle 2020. Saatavilla [www-muodossa:](http://www.pellettienergia.fi/images/stories/tiedostot/tilastot-ja-ennuste2020.pdf) <http://www.pellettienergia.fi/images/stories/tiedostot/tilastot-ja-ennuste2020.pdf>. Viitattu 19.6.2012.
- Pereira, A. S. 2011. Is Bioenergy the Big Bad Wolf in the Forestry Sector? A discussion about the sustainable supply chain management role in bioenergy systems. World Renewable Energy Congress 2011 – Sweden. Bioenergy Technology, ss. 25-32. Saatavilla [www-muodossa:](http://www.ep.liu.se/ecp/057/vol1/004/ecp57vol1_004.pdf)
http://www.ep.liu.se/ecp/057/vol1/004/ecp57vol1_004.pdf. Viitattu 16.5.2012.
- PK-yrityksen haavoittuvuusanalyysi. Saatavilla: <http://www.pk-rh.fi/tyovalineet/pdf/pk-yrityksen-haavoittuvuusanalyysi-kirjanen.pdf>. Viitattu 26.9.2012.
- Rentizelas, A. A., Tolis, J. A., Tatsiopoulou, I. P. 2009. Logistics issues of biomass: The storage problem and the multi-biomass supply chain. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 13, ss. 887-894.
- RESCA 2011. RESCA – suurten kaupunkien uusiutuvat energiaratkaisut ja pilotit. Saatavilla [www-muodossa:](http://www.resca.fi/) <http://www.resca.fi/>. Viitattu 24.4.2012.
- Rushton, A., Croucher, P., Baker, P. 2006. The handbook of logistics and distribution management. 3. painos. Glasgow, Bell & Bain, 612 s.
- Sakki, J. 1999. Logistinen prosessi. 4. uudistettu painos. Espoo, Jouni Sakki Oy, 238 s.
- Salanne, I., Rantala, J. 2007. Logistiikkajärjestelmä, tiekuljetusten turvallisuus ja alan kehittyminen - Logistiikkajärjestelmän vaikutukset tiekuljetusten toimintamalleihin, liikenneturvallisuuteen ja alan houkuttelevuuteen sekä kehittymiseen. Ajourneuvohallintakeskuksen tutkimuksia ja kysymyksiä, Nro. 14/2007, 57 s.
- Selkimäki, M., Mola-Yudego, B., Röser, D., Prinz, R., Sikanen, L. 2010a. Present and future trends in pellet markets, raw materials, and supply logistics in Sweden and Finland. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 14, ss. 3068-3075.
- Selkimäki, M., Prinz, R., Mola-Yudego, B., Röser, D. 2010b. Pellet market, raw materials, handling and logistics in Northern Periphery. PELLETTime. Saatavilla [www-muodossa:](http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2010/mwp157.pdf)
<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2010/mwp157.pdf>. Viitattu 29.5.2012.
- Selkimäki, M., Röser, D. Pelletime: Pellet logistics and transportation of raw materials in Finland. Saatavilla [www-muodossa:](https://docs.google.com/file/d/0Bzclbo6G1X9ONWJiZGVhZmMtZjZhZS00ZDE4LTg1YTctNWExYzA4NmZMWUy/edit?pli=1)
<https://docs.google.com/file/d/0Bzclbo6G1X9ONWJiZGVhZmMtZjZhZS00ZDE4LTg1YTctNWExYzA4NmZMWUy/edit?pli=1>. Viitattu 27.4.2012.

- Seppänen, M., Pajarre, E., Hannula, M. 2008. A Guide to Academic Writing. Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto, Teknis-taloudellinen tiedekunta, Opetusmoniste 1, 32 s.
- Sikkema, R., Steiner, M., Junginger, M., Hiegl, W., Hansen, M. T., Faaij, A. 2011. The European wood pellet markets: current status and prospects for 2020. Biofuels, Bioproducts & Biorefining, Vol. 5, ss. 250-278.
- Simchi-Levi, D., Kaminsky, P., Simchi-Levi, E. 2004. Managing the supply chain: The Definitive Guide for the Business Professional. New York, The McGraw-Hill Companies, 308 s.
- Simchi-Levi, D., Kaminsky, P., Simchi-Levi, E. 2008. Designing and Managing the Supply Chain. Concepts, Strategies and Case Studies. New York, The McGraw-Hill Companies, 498 s.
- suomiSanakirja.fi. Huipunkäyttöaika. Saatavilla [www-muodossa: http://suomisanakirja.fi/huipunk%C3%A4ytt%C3%B6aika](http://suomisanakirja.fi/huipunk%C3%A4ytt%C3%B6aika). Viitattu 14.9.2012.
- Tahvanainen, T., Anttila, P. 2011. Supply chain cost analysis of long-distance transportation of energy wood in Finland. Biomass and Bioenergy, Vol. 35, ss. 3360-3375.
- Taloussanomat 2011. Raakaöljyn hinta nousee jo kolmatta päivää. Saatavilla [www-muodossa: http://www.taloussanomat.fi/energia/2011/12/21/raakaoljyn-hinta-nousee-jo-kolmatta-paivaa/201119566/12](http://www.taloussanomat.fi/energia/2011/12/21/raakaoljyn-hinta-nousee-jo-kolmatta-paivaa/201119566/12). Viitattu 21.5.2012.
- Tilastokeskus. Uusiutuvat energialähteet. Saatavilla [www-muodossa: http://www.stat.fi/meta/kas/uusiutuvat_ener.html](http://www.stat.fi/meta/kas/uusiutuvat_ener.html). Viitattu 26.6.2012.
- Työ- ja elinkeinoministeriö 2012. Uusiutuvat energialähteet. Saatavilla [www-muodossa: http://www.tem.fi/index.phtml?s=2481](http://www.tem.fi/index.phtml?s=2481). Viitattu 7.5.2012.
- Vapo 2009. Puupellettien laatu ja saatavuus. Saatavilla [www-muodossa: http://www.pkamk.fi/biostuli/materiaalit/Puupellettien%20laatu%20ja%20saatavuus,%20Matti%20Saastamoinen,%20Vapo%20Oy.pdf](http://www.pkamk.fi/biostuli/materiaalit/Puupellettien%20laatu%20ja%20saatavuus,%20Matti%20Saastamoinen,%20Vapo%20Oy.pdf). Viitattu 19.6.2012.
- Vapo 2011a. Tiedote 4.10.2011. Vapo sopeuttaa syvästi tappiollista pellettiliiketoimintaansa. Saatavilla [www-muodossa: http://www.vapo.fi/media/ajankohtaista/1775/vapo_sopeuttaa_syvasti_tappiollista_pellettiliiketoimintaansa](http://www.vapo.fi/media/ajankohtaista/1775/vapo_sopeuttaa_syvasti_tappiollista_pellettiliiketoimintaansa). Viitattu 27.4.2012.
- Vapo 2011b. Pellettien toimitusehdot. Saatavilla [www-muodossa: http://www.vapo.fi/filebank/699-5430-yleiset_pellettien_toimitusehdot_01_10_2011.pdf](http://www.vapo.fi/filebank/699-5430-yleiset_pellettien_toimitusehdot_01_10_2011.pdf). Viitattu 6.9.2012.
- Vapo Pelletti. Vapo-puupelletti – edullista lämpöä helposti. Esite, markkinointimateriaali.
- Vattenfall 2012. R&D Biomass energy. Saatavilla [www-muodossa: http://www.vattenfall.com/en/biomass-renewable-energy.htm](http://www.vattenfall.com/en/biomass-renewable-energy.htm). Viitattu 16.10.2012.

Ylitalo, E. 2011. Puupelletit 2010. Puupellettejä tuotettiin 290 000 tonnia vuonna 2010. Metsäntutkimuslaitos. Metsätilastotiedote 11/2011, 24.3.2011.

LIITE 1: Tutkimukseen haastatellut henkilöt

Yritys	Henkilö	Nimike	Päiväys
Vapo Oy	Timo Huhtanen	Operation manager	2.8.2012
Tampereen Energi- antuotanto Oy	Timo Heinonen	Kehityspäällikkö	Toukokuu-Syyskuu 2012
	Laura Laaksonen	Energiainsinööri	
Korsu Oy	Pekka Keski-Korsu		15.8.2012